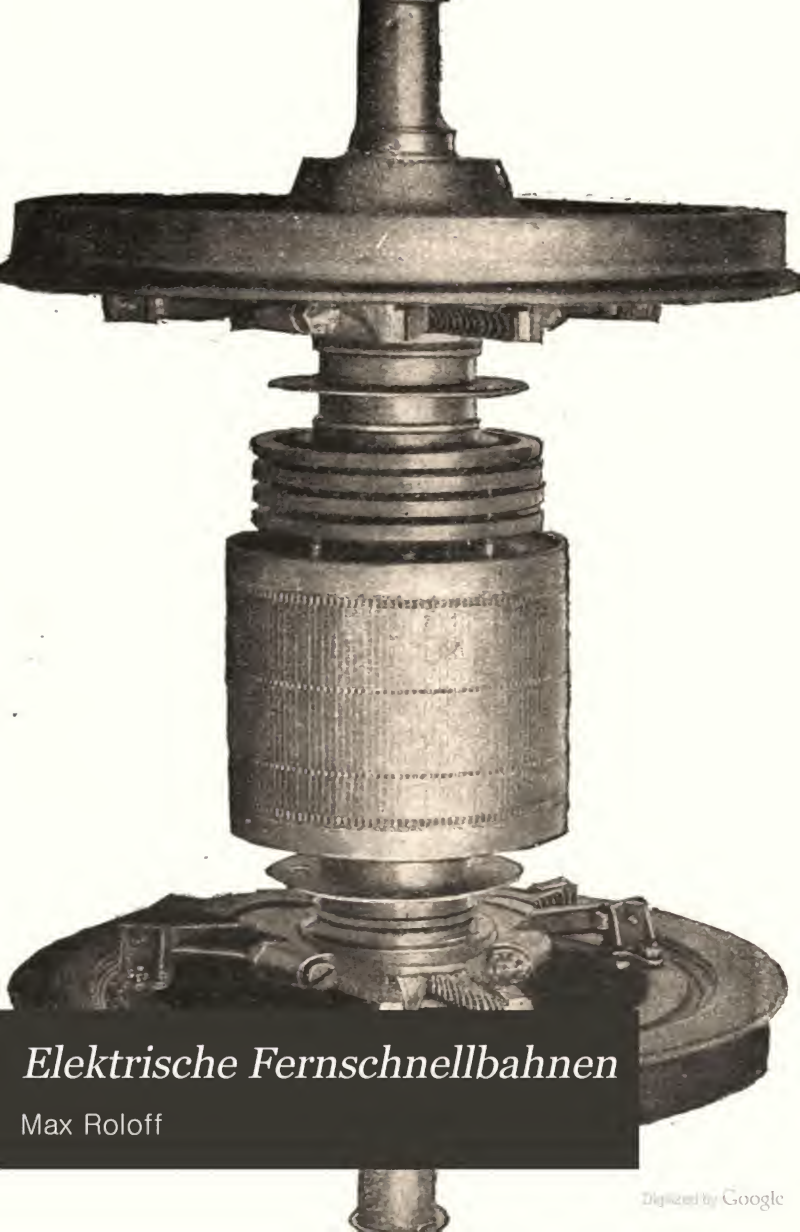


Elektrische Fernschnellbahnen

Max Roloff

Digitized by Google

University of Wisconsin
Library

CLASS

BOOK

PURCHASED WITH THE
SCHOOL OF COMMERCE LIBRARY FUND
A GIFT FROM FRIENDS OF THE UNIVERSITY
1901

Digitized by Google

Digitized by Google

Elektrische Fernschnellbahnen.

Eine kritische Skizze

von

Dr. Max Roloff
Privatdozent an der Universität Halle.

Mit sechzehn Abbildungen.

Halle a. S.
Gebauer-Schwetschke Druckerei u. Verlag m. b. H.
1902.

Digitized by Google

6438799

73792
OCT 12 1903
STF
R64

Vorwort.

Von dem Verlage der Zeitschrift „die Natur" wurde ich aufgefordert, einen Vortrag, den ich im Naturwissenschaftlichen Verein für Thüringen und Sachsen über die Zukunft der elektrischen Fernschnellbahnen gehalten hatte, für die erwähnte Zeitschrift zu bearbeiten. Hierdurch war eine allgemeinverständliche Behandlung des Themas bedingt, und diesem Charakter der Schrift entsprechend mußten rein technische Fragen vielfach kürzer abgehandelt werden, als im Interesse der Sache wünschenswert sein dürfte.

Trotzdem also die Darlegungen sich in erster Linie nicht an die sachverständigen Kreise wenden, ist stets Wert darauf gelegt worden, Zahlenmaterial u. s. w. nur den neusten und durchaus zuverlässigen Quellen zu entnehmen.

Ich möchte nicht versäumen, dem Verlage ganz besonders für die Sorgfalt zu danken, die auf die Ausstattung der Schrift verwandt ist und gleichzeitig auch im Namen des Verlages auch der Firma Siemens & Halske (Berlin), der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft (Berlin) und der Continentale-Gesellschaft für elektrische Unternehmungen (Nürnberg), die uns die Abbildungen freundlichst zur Verfügung gestellt haben.

Halle, Januar 1902.

Dr. Roloff.

Digitized by Google

Inhalt.

		Seite
I.	Die gegenwärtigen Leistungen der Dampfbahnen	1
II.	Die Unmöglichkeit wesentlich größerer Zuggeschwindigkeiten bei Dampfbetrieb	4
III.	Kraftleistungen bei elektrischem Betriebe	16
IV.	Vergleichung der Kosten des elektrischen und des Dampfbetriebes	23
V.	Betriebstechnische Rücksichten für und wider die Einführung des elektrischen Schnellbahn-Betriebes	34
VI.	Die ersten Projekte elektrischer Fernschnellbahnen	41
VII.	Die Wahl des elektrischen Stromsystems	47
VIII.	Die Berliner Versuchsbahnen	56
IX.	Die Einschienenbahnen für Schnellverkehr	61

Digitized by Google

I.

Die gegenwärtigen Leistungen der Dampfbahnen.

In unserm Zeitalter des Verkehrs macht sich immer dringender das Bedürfnis geltend, die Schnelligkeit und womöglich auch die Häufigkeit der Zugverbindungen wenigstens zwischen den Hauptstationen der großen Eisenbahnlinien zu steigern. Die Eisenbahnverwaltungen suchen diesen Forderungen des reisenden Publikums soweit als möglich gerecht zu werden, und jedes Jahr beim Erscheinen des neuen Fahrplanes bringen die Zeitungen den Hinweis, daß die Fahrzeit dieses oder jenes Schnellzuges wieder um einige Minuten verkürzt werden konnte. Freilich sind diese Zeitersparnisse immer nur ganz geringe, und dies legt den Gedanken nahe, daß bei der jetzigen Betriebsart eine Steigerung der Schnelligkeit mit großen Schwierigkeiten verbunden sein muß, und daß das mögliche Maximum wohl nahezu erreicht sein dürfte. Ein Schnellzug, der 70 km in der Stunde fährt, macht seinem Namen heute schon Ehre, und Züge mit Geschwindigkeiten von über 80 km gehören zu den angestaunten Ausnahmen.

Seit einigen Jahren erscheinen nun hin und wieder Broschüren, die mit mehr oder weniger Sachkenntnis Vorschläge bringen, die Zuggeschwindigkeiten durch Einführung des elektrischen Betriebes an Stelle des Dampfbetriebes zu steigern. Die in Aussicht gestellten Zugleistungen bleiben in diesen Schriften selten hinter 200 km zurück, gehen sogar bis 300 km in der Stunde. Es hat ja freilich die Aussicht sehr viel Verlockendes, in derselben Zeit von Berlin z. B. nach Halle gelangen zu können, in der man jetzt vom Lützowplatze in Berlin nach dem Spittelmarkte mit der Straßenbahn fährt, aber — zwischen jenen Hirngespinsten und der praktischen Möglichkeit liegen noch so manche Schwierigkeiten.

Es soll nun im Folgenden auseinandergesetzt werden, warum der Dampfbetrieb in Zukunft zweckmäßig durch den elektischen Betrieb zu ersetzen sein wird, was mit letzterem nach zuverlässigen Berechnungen in Zukunft voraussichtlich erreicht werden kann, und was auf den heute schon bestehenden elektrischen Vollbahnen — besonders auf der Versuchsbahn der Studiengesellschaft für elektrische Schnellbahnen — bereits thatsächlich erreicht worden ist.

Zuvörderst aber wollen wir einen Blick werfen auf die heutigen Schnelligkeitsleistungen der Dampfbahnen, um einen Maßstab für unsere Ansprüche an die elektrischen Bahnen zu gewinnen.

Digitized by Google

Unsere schnellsten Luxus- und Schnell-Züge in Nord-Deutschland fahren durchschnittlich etwa 70—80 km in der Stunde, in dem mehr von Gebirgen durchzogenen Süddeutschland 60—70 km. Die folgende Tabelle möge einen Überblick über die größten Zuggeschwindigkeiten auf deutschen Bahnen geben.

Zug-Bezeichnung.	Länge der Strecke.	Durchschn. Geschw. i. d. Stunde.
Schnellzug Berlin-Hildesheim-Köln	585 km	61 km
Luxuszug " " "	585 "	65 "
" Berlin-Alexandrowo-[Warschau]	413 "	65 "
Orientzug Berlin-Breslau	333 "	72,5 "
" Ostende-Köln	350 "	59 "
Römerzug { Berlin-Leipzig	173 "	76 "
Römerzug { Hof-München	317 "	64 "
2 Schnellzüge Berlin-Halle	161,1 "	80,8 "
Schnellzug Berlin-Hamburg	286 "	80,96 "

Unser schnellster Zug ist also der „fliegende Hamburger" mit nahezu 81 km „Durchschnittsgeschwindigkeit", d. h. die Streckenlänge geteilt durch die gesamte Fahrzeit ergiebt diese Leistung. Da nun aber bei Steigungen und beim Passieren der Weichen auf den Stationen langsamer gefahren wird, so muß auf den ebenen Teilen der Linie streckenweise auch eine höhere Geschwindigkeit erreicht werden. Die in Deutschland „für Personenzüge mit durchgehender Bremse unter besonders günstigen Verhältnissen mit Genehmigung der Landesaufsichtsbehörde" zulässige höchste Schnelligkeit beträgt 90 km, und die streckenweise erreichte Maximalleistung des Hamburger Zuges wird wenig hinter dieser Zahl zurückbleiben. Maßgebend für die Beurteilung der Zugleistung kann aber selbstverständlich nur die Durchschnittsgeschwindigkeit sein.

In Österreich giebt es kaum einen Zug, der mehr als 70 km in der Stunde leistet, in Rußland ist 60 km der höchste Rekord; England, Amerika und besonders Frankreich sind dagegen in Bezug auf die Schnelligkeit der Eisenbahnverbindungen Deutschland weit überlegen.

Es wird vielleicht Erstaunen erregen, daß Amerika, das Land der großen Zahlen und der Übertreibungen, nicht auch die schnellsten Zugleistungen zu verzeichnen hat. Dies liegt jedoch weniger an dem guten Willen der Amerikaner, als an den für schnelle Fahrten ungünstigen Terrainverhältnissen. Im ebenen Gelände erreicht der durch keine Eisenbahnpolizeiverordnungen behinderte Empire-State-Expreß 96—100 km Geschwindigkeit, ein Zug der Philadelphia-Bahn sogar (angeblich!) 145 km bei fahrplanmäßigen Leistungen. Die Berichte über ganz ungeheuerliche Geschwindigkeitsleistungen,

Digitized by Google

die von Zeit zu Zeit über den Ozean zu uns gelangen, beziehen sich, sofern sie nicht einfach unwahr sind, durchweg auf Renommierfahrten einzelner Eisenbahngesellschaften, die um einen Rekord zu schaffen, das nötige Zugmaterial und das Leben einiger waghalsiger Beamten aufs Spiel setzen. So soll am 9. und 11. Mai 1893 der Empire-State-Expreß mit der Lokomotive 999 der Baldwin-Works auf einer kurzen Strecke 163 und 180 km erreicht haben, ja auf einer Rekordfahrt der Savanna-Florida-Bahn hat es ein aus Lokomotive, Postwagen, Gepäckwagen und Schlafwagen bestehender Versuchs-Zug über wenige englische Meilen hin bis auf 193,20 km gebracht. Auf einer längeren Strecke von 240 km soll nach der Railroad-Gazette ein Zug derselben Bahn 111 km Durchschnittsgeschwindigkeit erreicht haben, was nicht unglaublich erscheint, da der Zug Amiens-Paris der französischen Nordbahn fahrplanmäßig die Durchschnittsleistung von 104,8 km in der Stunde aufweist. Dieser letztere dürfte wohl der schnellste aller regelmäßig verkehrenden Züge sein und somit das Maximum der mit den heutigen Betriebsmitteln zu erreichenden Zugleistung darstellen.

Zugbezeichnung.	Länge der Strecke.	Durchschn. Geschw. in d. Stunde.
London-Edinburg	632 km	81,5 km
„ Newcastle („Flying Scotch")	435 „	83,5 „
„ Exeter	310 „	85,5 „
„ Bristol	349 „	86 „
York-Darlington	71,1 „	87,7 „
Perth-Aberdeen	144,2 „	89,4 „
Stirlin-Perth	53 „	90,9 „
Forfar-Perth	52,2 „	95 „
Amiens-Calais	167 km	92 km
St. Pierre-Orléans	110 „	98,5 „
Poitiers-Angoulême	113 „	91,7 „
Dax-Bordeaux	148 „	93,5 „
Orléans-Tours	112 „	93,4 „
Bordeaux-Angoulême	140 „	92,2 „
Amiens-Paris	131 „	104,8 „
New-York-Buffalo (Empire-State-Expreß)	704 km	85 km
New-York-Chicago	1562 „	64 „
„ San Francisco	—	54 „

Digitized by Google

II.

Die Unmöglichkeit wesentlich größerer Zuggeschwindigkeit bei Dampfbetrieb.

Wenn nun, wie wir gesehen haben, von den Versuchszügen amerikanischer Bahnen größere Geschwindigkeiten thatsächlich erreicht worden sind, schnelleres Fahren bis zu 180 km mit Dampflokomotiven also möglich ist, so liegt die Frage nahe, warum diese Versuche nicht täglich wiederholt und fahrplanmäßig durchgeführt werden können. Die Gefahren eines solchen Betriebes würde die fortschreitende Technik vielleicht zu beseitigen imstande sein, und die zweifellos damit verbundenen höheren Betriebskosten könnten eventuell durch Zuschläge zu den Fahrpreisen aufgebracht werden, wie dies heute ja schon bei den D-Zügen und den Luxuszügen allgemein geschieht.

Die Kosten eines dermaßen forcierten Betriebes würden freilich ganz erheblich höhere sein, als bisher, wie eine kleine Überschlagsrechnung uns weiterhin zeigen wird. Bei dem erheblichen Nutzen solcher schnellen Zugverbindungen zwischen den Hauptstationen würde aber dieser pekuniäre Gesichtspunkt schließlich nicht ausschlaggebend sein können. Es ist ja bekannt, daß die Eisenbahnverwaltung schon bei dem Personentransport zusetzt und daß nur der Gütertransport die Rentabilität der Eisenbahnen bedingt, indem er $^2/_3$ der Gesamteinnahme bringt und dabei nur $^1/_3$ der Gesamtbetriebskosten erfordert.*)

Viel wesentlicher ist der Umstand, daß die Gefahren solcher schnellen Zugleistungen in der Bauart unserer Lokomotiven selbst liegen und auch durch eine fortschreitende Technik nicht beseitigt werden können, wenn nicht eben ein ganz neues System der Betriebsmittel eingeführt wird. Die heutige Lokomotive besitzt auf jeder Seite einen Dampfcylinder, durch dessen Füllung mit gespanntem Dampfe und darauf folgende Entleerung die Pleuelstange in horizontaler Richtung zurück- und vorgestoßen wird, welche Bewegung sich auf die Triebräder überträgt. Die beiderseitigen Antriebe müssen nun notwendigerweise gegeneinander um 90° versetzt sein, d. h. wenn die eine Kolbenstange am vorderen oder hinteren Endpunkte ihres Weges steht, muß die andere gerade auf der Hälfte der Vor- oder Rückwärtsbewegung angelangt sein. Dies ist unbedingt notwendig, weil die erste Kolbenstange in der

*) Anmerkung. So machten z. B. im Betriebsjahre 1899 die Einnahmen aus dem Verkehr bei den deutschen Staatsbahnen 92 16% der Gesamteinnahmen aus. Von diesen Verkehrseinnahmen brachte der Personenverkehr 29,78 %, der Güterverkehr 70,22 %. Letzterer erforderte dagegen nur 41 % der Gesamtbetriebskosten.

Digitized by Google

angegebenen Lage sich auf sogenannten toten Punkten befindet, d. h. nicht drehend auf die Triebräder einwirken kann. Würden nun beide Stangen gleichmäßig arbeiten, so könnte der Fall eintreten, daß die Lokomotive beim Anhalten grade in der Lage zum Stehen kommt, in der beide Antriebe machtlos sind, sie würde also erst durch Menschenkraft aus der toten Lage heraus geschoben werden müssen, ehe sie ihre Dampfkraft auszunutzen vermöchte. Bei der versetzten Anordnung beider Kolbenstangen aber ist jedenfalls die eine immer in solcher Lage, daß sie wirken kann. Durch diese Konstruktion ist nun aber ganz unvermeidlich der Nachteil bedingt, daß die Lokomotive auf beiden Seiten ungleichmäßig nach vorn gestoßen wird, und sie fängt deshalb bei schnellem Fahren an zu springen, um so mehr, je schneller und heftiger die Kolbenstöße wirken. Es ist schon bei Geschwindigkeiten von 80 km in der Stunde garnichts seltenes, daß die Maschine 5 cm und mehr aus den Schienen in die Höhe springt und wer auf einer kleinen Station das Vorbeisausen eines durchfahrenden Schnellzuges beobachtet hat, wird sicher auch das Schwanken der Maschine bemerkt haben. Solange die Schienenstrecke ganz grade verläuft, ist das Springen der Maschine nicht weiter gefährlich, da sie infolge ihrer gradlinig nach vorn gerichteten Bewegung stets wieder in die Schienen zurückfällt. Wenn aber die Schienen ihre Richtnng in einer Kurve verändern, oder wenn ein Hindernis, etwa ein Stein, auf den Schienen liegt, so springt die Lokomotive leicht aus den Schienen heraus und entgleist.

Man hat diesem Übelstande dadurch abzuhelfen versucht, daß man auf jeder Seite der Lokomotive zwei Cylinder anbrachte, deren Kolben gegeneinander versetzt waren, damit die ungleichmäßigen Stöße sich auf jeder Seite aufheben sollten. Dies System erwies sich aber als unbrauchbar, weil selbst bei stärkster Bauart die Maschinen diese sich entgegen arbeitenden Kolbenstöße nicht auszuhalten vermochten.

Ein zweiter Grund noch macht für Geschwindigkeiten von 150—200 km den Dampfbetrieb gefahrvoll, wenn nicht ganz unmöglich. Je schneller die Triebräder sich drehen sollen, desto schneller müssen natürlich auch die Kolbenstöße sich folgen. Von Eisenbahn-Bauinspektor Fränkel ist eine Dampflokomotive für Geschwindigkeiten von 200 km in der Stunde entworfen, die selbst bei dem angenommenen Durchmesser der Triebräder von 2,8 m immer noch 380 Kolbenstöße in der Minute leisten müßte, also mehr als 6 in der Sekunde. Nach einer Angabe von N. Sanzin sollen freilich auf englischen Bahnen bereits bei einzelnen Versuchsfahrten Umdrehungszahlen von 400 in der Minute und dementsprechende Kolbengeschwindigkeiten von 7—8 m erreicht worden sein. Doch ist zu beachten, daß die bei der Fränkel'schen Lokomotive erforderte Kolbengeschwindigkeit von 10 m eine erhebliche Steigerung dieser

Digitized by Google

Zahlen bedeutet, und selbst wenn hervorragende Fachleute wie v. Borries sich für die Möglichkeit des Baues einer solchen Schnellokomotive ausgesprochen haben, so dürfte der Zweifel doch wohl gerechtfertigt sein, ob mit den heutigen Materialien die Konstruktion genügend dauerhaft ausgeführt werden könnte.

Von dem französischen Ingenieur J. J. Heilmann ist ein sehr bemerkenswerter Versuch gemacht worden, diese Mißstände zu beseitigen. Die im Jahre 1893 von der Société industrielle de Moteurs électriques et à vapeur konstruierte Heilmann-Lokomotive enthält wie jede andere Lokomotive eine Dampfmaschine mit Cylinder und Kolben, aber dieser Kolben wirkt nicht direkt auf die Triebräder der Lokomotive ein, sondern überträgt die Kraft der Dampfmaschine auf die Achse zweier Dynamomaschinen. Der von diesen gelieferte elektrische Strom (900 Ampère bei 460 Volt) diente zum Antriebe der auf den 8 Achsen der zwei vierachsigen Drehgestelle direkt montierten elektrischen Arbeitsmaschinen (Motoren). Für die letzteren giebt es bekanntlich nicht wie für die Dampfmaschine mit Kolbenwirkung einen toten Punkt, sondern die Kraftwirkung ist ganz die gleiche, in welcher Lage auch der rotierende innere Teil (der Anker) zu dem feststehenden äußeren Magnetfelde sich befinden mag. Dabei ist der Antrieb nicht ein stoßender, sondern während der ganzen Umdrehung durchaus gleichmäßig. Der Kolben der Dampfmaschine braucht nur mit mäßiger Geschwindigkeit zu arbeiten, denn seine Geschwindigkeit ist bei passender Konstruktion des elektrischen Strom-Generators und der Motoren für die Drehungszahl der letzteren nicht direkt maßgebend. Die Heilmann-Lokomotive hat die auf sie gesetzten Hoffnungen bezüglich des ruhigen Ganges bei den höchsten erreichten Geschwindigkeiten durchaus erfüllt. Auch ihre anderen Vorzüge vor den Lokomotiven mit reinem Dampfbetriebe sind erheblich und sollen hier in Kürze erwähnt werden. Der Antrieb erfolgt auf sämtlichen 8 Achsen, auf denen die Maschine ruht, das gesamte Gewicht der Lokomotive wird daher ausgenutzt, um die Reibung der Triebräder auf den Schienen zu vermehren, während bei den gewöhnlichen Lokomotiven höchstens $^1/_3$—$^3/_5$ des Gewichts, selbst bei gekuppelten Triebräderpaaren nutzbar wird. Die Kraftleistung der Heilmann-Maschinen ist ferner eine ganz außerordentliche. Die im Jahre 1893/94 gebaute Maschine lieferte 770 Pferdekräfte, konnte aber auf kurze Zeit beinahe das Doppelte leisten. Zwei neuere im Jahre 1898 gebaute Lokomotiven desselben Typus sollen sogar 1350 Pferdekräfte entwickeln. Die Ausnutzung des Feuerungsmaterials soll ebenfalls günstiger sein als bei andern Lokomotiven, sodaß der Betrieb sich zudem noch verhältnismäßig billiger stellen würde. Als Nachteile dieses Typus sind zu nennen: erstens die hohen Kosten (120000 Mk. gegen 60000 für eine sehr gute Dampflokomotive) und das hohe Gewicht von 120 t,

Digitized by Google

das als tote Last mitgeschleppt werden muß und meist mehr beträgt als das Gewicht des ganzen übrigen Zuges. Trotzdem von der französischen Südbahn einige Heilmann-Lokomotiven benutzt werden und auch für Rußland mehrere bestellt sein sollen, so werden sie doch voraussichtlich keine weitere Verbreitung finden. Interessant ist diese Konstruktion vor allem nur deshalb, weil sie einige Vorteile des elektrischen Betriebes (gleichmäßiger Antrieb und volle Verwendung des Lokomotivgewichtes) zum ersten Male praktisch ausgenutzt hat, freilich ohne sich von den Nachteilen des Dampfbetriebes ganz frei machen zu können.

Es ist selbstverständlich, daß durch die vermehrten Schwankungen, die eine Lokomotive bei 150—200 km Geschwindigkeit ausführen würde, nicht nur die Maschine selbst, sondern auch der Unterbau der Bahnstrecke in erheblicher Weise beschädigt werden würde, zumal da die hohen Zugleistungen auch schwerere Lokomotiven notwendig machen würden, als bis heute im Gebrauch sind.

Je schneller nämlich ein Zug von gegebener Zusammensetzung fahren soll, je schwerer der Zug ist, oder je größere Steigungen er zu überwinden hat, um so größer muß der auf den Triebrädern der Lokomotive lastende Achsdruck, mithin also das Gewicht der Maschine selbst sein. Eine kleine Berechnung wird uns die bei gewöhnlichen und bei gesteigerten Zugleistungen erforderlichen Mindestgewichte der Maschine liefern.

Legen wir unsern Berechnungen das Beispiel eines D-Zuges zu Grunde, der aus 4 Durchgangs-Personen-Wagen zu je 35 t*) Gewicht 1 Gepäckwagen zu 26 t, einem Tender zu 44 t (inklusive 5 t Kohlen und 18 t Wasser) sowie der Lokomotive besteht. Das Gewicht der letzteren soll ermittelt werden, und wir bezeichnen dasselbe vorläufig mit x.

Um diesen Zug vorwärts zu bewegen, muß man zunächst den sogenannten Rollwiderstand überwinden, d. h. die rollende Reibung der Räder auf den Schienen sowie den infolge der Durchbiegung der letzteren an den Schienenenden geleisteten Gegenstoß. Dieser Rollwiderstand ist nach Messungen von Coulomb unabhängig von der Geschwindigkeit des laufenden Rades, aber sehr stark abhängig von der Beschaffenheit der Schienen. Als Mittelwert wollen wir 1,6 kg pro t Zuggewicht ansetzen, d. h. um einen Wagen von 35 t auf dem Gleise fortzurollen, müssen wir dieselbe Kraft aufwenden, die nötig wäre, um 35 . 1,6 = 56 kg hoch zu heben. Für die Lokomotive selbst und den Tender, deren Achsen nicht gefedert sind, stellt sich der Rollwiderstand höher, nämlich auf 3,8 kg pro Tonne.**)

*) 1 t = 1000 kg.

**) Anmerkung. Diese Zahlen sind den durch Versuche auf der französischen Nordbahn empirisch gewonnenen Barbier'schen Formeln entnommen. Wahrscheinlich sind die Werte etwas zu klein.

Digitized by Google

Der gesamte Rollwiderstand unseres Zuges beträgt demnach

1) für 4 Personen-Wagen zu 35 t $4 . 35 . 1{,}6 = 224$ kg
2) für 1 Gepäck-Wagen zu 26 t $26 . 1{,}6 = 42$ „
3) für 1 Tender zu 44 t $44 . 3{,}8 = 167$ „
4) für 1 Lokomotive zu x t $x . 3{,}8 = 3{,}8 . x$ „

In Summa also: $(433 + 3{,}8 . x)$ kg.

Bei einigermaßen nennenswerten Geschwindigkeiten hat der fahrende Zug ferner den Luftwiderstand zu überwinden. Man ist geneigt, diesen als gering anzunehmen, wir werden aber sehen, daß er ganz gewaltige Beträge erreichen kann, ja sogar, daß die Hauptarbeit der Lokomotive zur Überwindung des Luftwiderstandes verbraucht wird. Ein Wind, der uns mit 20 m Geschwindigkeit in der Sekunde entgegenbläst, wird bereits als starker Sturm bezeichnet, und jedermann wird wohl schon selbst die Erfahrung gemacht haben, wie schwer es ist, dagegen anzukommen.

Die Berechnung des Luftwiderstandes gegen so schnell bewegte Flächen ist nur sehr unsicher begründet. Nach der Theorie soll der Widerstand proportional dem Quadrate der Geschwindigkeit zunehmen, doch ist bereits als bewiesen anzusehen, daß die Zunahme bei Geschwindigkeiten über 25 m/sec. wesentlich langsamer erfolgt.

Durch Versuche auf der französischen Nordbahn ist für den gesamten Widerstand, den eine fahrende Lokomotive mit Tender zu überwinden hat der Ausdruck festgestellt:

$$Z = 3{,}8 + 0{,}9 . v\left(\frac{v + 30}{1000}\right).$$

Man erhält so den Widerstand in kg für je eine t Lokomotivgewicht, wenn als v die Geschwindigkeit in km pro Stunde eingesetzt wird. Das erste von v unabhängige Glied stellt den Rollwiderstand, das zweite Glied den Luftwiderstand dar.

Nehmen wir das Gewicht von Lokomotive und Tender zu 94 t an, so ergiebt die Formel für v = 160 km/std. einen Luftwiderstand von 2572 kg. Die demselben ausgesetzte Fläche bei Lokomotive und Tender kann nach Crosby auf 12 qm geschätzt werden, und mithin ergeben sich auf den qm 214 kg Druck. (Davon, daß eine zusammenhängende Fläche von 12 qm einen etwas andern Gegendruck erleidet als 12 einzelne qm soll in Anbetracht der sonstigen Unsicherheiten der Rechnung abgesehen werden.)

Bei den neusten Versuchsfahrten der Studienbahn Berlin-Zossen hat sich nun aber das experimentell direkt festgestellte Resultat ergeben, daß der Luftwiderstand bei 160 km Stundengeschwindigkeit nur 134 kg beträgt, das sind 62 % des oben berechneten Wertes.

In der folgenden Tabelle sind daher für verschiedene v Werte in der geschilderten Weise die Luftwiderstände pro qm Vorderfläche

Digitized by Google

berechnet und dann mit 0,62 multipliziert, um sie der bei v = 160 erforderten Korrektion entsprechend herabzusetzen.

Daß die Werte noch fehlerhaft sein werden liegt auf der Hand, doch dürfte eine zuverlässigere Methode zur Berechnung von Luftwiderständen für derartige Geschwindigkeiten nicht existieren.

Geschwind. in d. Stunde.	Geschwind. in der Sekd.	Luftwiderst. auf 1 qm
81 km	23 m	39 qm
120 „	33 „	79 „
160 „	44 „	133 „
180 „	50 „	165 „
200 „	55 „	201 „
250 „	70 „	306 „

Bei einer Geschwindigkeit von 23 m/sec. wie sie etwa der Fahrt des Berlin-Hamburger Zuges entspricht, beträgt der Druck auf die 12 qm betragende Vorderfläche der Lokomotive also 467 kg d. h. es ist gegen den Luftdruck dieselbe Kraft aufzuwenden, die nötig wäre, um 467 kg zu heben. Für die Vorderfläche des ersten Wagens setzen wir nach Crosby 5,6 qm an, der Gegendruck würde also 218 kg ausmachen. Die Fläche jedes der folgenden Wagen würde demselben Drucke ausgesetzt sein, wenn sie frei stände. Man vermeidet dies aber durch die Anbringung der Harmonikaklappen zwischen den Wagen, die demnach nicht in erster Linie die Möglichkeit des „Durchgehens" durch den ganzen Zug, sondern eine Kraftersparnis bezwecken, und die somit ein schnelles Fahren der Züge überhaupt erst möglich machen. Die Vorderflächen der bei unserem Zuge noch folgende 4 Wagen sollen mit je 1 qm angesetzt werden, der entsprechende Gegendruck der Luft also mit 156 kg. Die Reibung der Luft an den Seiten des Zuges ist ebenfalls ein merkliches Bewegungshindernis. Wir wollen aber keine Rücksicht auf sie nehmen, da die obigen Zahlen für die Vorderflächen bereits etwas reichlich angesetzt sind, um die Seitenreibung mit einzuschließen.

Der Luftwiderstand, den unser Zug bei 81 km Stundengeschwindigkeit zu überwinden hätte, würde also betragen:

1) Vorderfläche der Lokomotive 467 kg
2) „ des ersten Wagens 218 „
3) „ der folgenden Wagen 156 „ = 841 kg

Wenn keine Harmonika-Verbindung vorgesehen wäre, so stellte sich diese Berechnung wie folgt:

1) Vorderfläche der Lokomotive 467 kg
2) „ von 5 Wagen 1092 „ = 1559 kg.

Also nahezu der doppelte Luftwiderstand!

Digitized by Google

Die von der Lokomotive auszuübende Zugkraft beträgt also:
1) gegen den Rollwiderstand: (433 + 3,8 x) kg
2) „ „ Luftwiderstand a) 841 „
b) 1559 „

Wenn das Gewicht der Lokomotive — wir wollen das Resultat im voraus verraten — 50 t betragen würde, also x=50 zu setzen wäre, so ergäbe sich der gesamte Rollwiderstand 433 + 190 = 623 kg, also kleiner als der Luftwiderstand. Der Harmonikazug würde im ganzen erfordern 1464 kg, der Zug ohne Harmonika-Klappen aber 2182 kg also etwa um die Hälfte mehr.

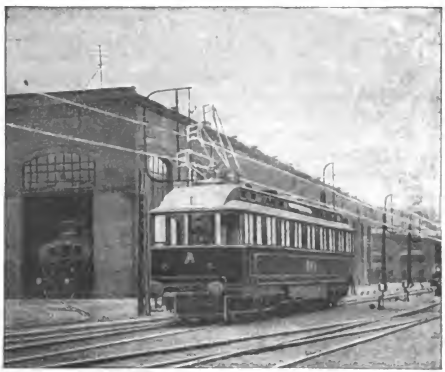


Fig 1. Schnellbahnwagen des neuesten Typus der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin.

Jedoch, vergessen wir das Gewicht der Lokomotive wieder und fahren wir fort in der Berechnung desselben, indem wir zu ermitteln versuchen, welche Zugkraft eine Lokomotive von x t Gewicht auszuüben vermöchte. Es kommt nämlich nicht allein auf die Stärke der Dampfmaschine an, sondern auch sehr wesentlich auf das Gewicht der Lokomotive oder richtiger auf den Achsdruck, der auf die Achse der Triebräder ausgeübt wird, mit dem letztere also auf die Schienen gepreßt werden. Wenn die Lokomotive z. B. an einem Felsen mit einer Kette angespannt würde, den sie unter keinem Umständen von der Stelle zu bewegen vermöchte, so würde die Maschine zwar die Triebräder in Drehung versetzen, diese würden sich aber ohne von der Stelle zu kommen unter der

Digitized by Google

Maſchine drehen und auf den Schienen ſchleifen und zwar um ſo leichter, je weniger feſt ſie auf die Schienen gepreßt werden, je geringer alſo der Achsdruck der Lokomotive iſt.

Es iſt nun durch praktiſche Verſuche feſtgeſtellt worden, daß der Reibungskoeffizient der ſchleifenden Reibung von Eiſen auf Eiſen $= \frac{1}{5}$ iſt,*) d. h. daß eine Lokomotive ins Rutſchen kommt,

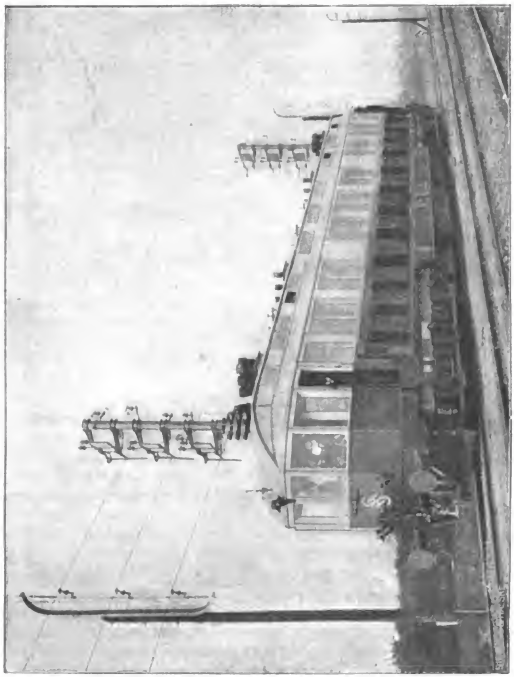


Fig 2. Schnellbahnwagen des neueſten Typus von Siemens & Halske.

*) Der Koeffizient für trockene Eiſenflächen beträgt $\frac{1}{3} - \frac{1}{4}$. Bei Regenwetter ſind die Schienen aber naß und dann wird der Koeffizient bis $\frac{1}{6}$ oder noch weniger herabgedrückt. Hier muß ein ungünſtiger Wert eingeſetzt werden, da die Lokomotive auch bei feuchtem Wetter nicht verſagen darf.

Digitized by Google

wenn der Felsen sich mit einer Kraft nach rückwärts bewegen würde, die $\frac{1}{4}$ des Achsdruckes beträgt, oder die Lokomotivräder drehen sich dann erfolglos unter der Maschine, wenn die zu überwindende Kraft mehr als $\frac{1}{6}$ des Achsdruckes ausmacht.

Wir erhalten somit das Resultat, daß der Achsdruck der Lokomotive unseres Zuges mindestens 8 mal 1464 kg betragen muß. Der Achsdruck darf nun aber nicht gleich dem Gesamtgewicht der Lokomotive gesetzt werden. Gewöhnlich ruht nur $\frac{1}{4}$ im besten Falle $\frac{3}{4}$ der Gesamtlast auf den Triebrädern, das übrige Gewicht wird von einem oder zwei Drehgestellen getragen. Der Achsdruck ist also $= \frac{3}{4} x \cdot t = \frac{3}{4} x \cdot 1000$ kg.*)

Unsere beiden Resultate für die Größe des Achsdruckes ergeben nebeneinandergestellt die Gleichung:

$$8(433 + 3{,}8x + 841)\,\text{kg} = \tfrac{3}{4} x \cdot 1000\,\text{kg}$$

$$x = 17{,}9\,\text{t}$$

Die Lokomotive muß also bei günstigster Ausnutzung ihres Gewichtes mindestens 17,9 t wiegen, damit sie unsern D-Zug gegen den Rollwiderstand und den Luftwiderstand bei 81 km Stundengeschwindigkeit fortbewegen kann.

Alles dies versteht sich für eine durchaus horizontale Bahn. Wir wollen noch in Kürze berechnen, welcher Mehrbedarf an

*) Anmerkung: Über die Gewichte neuster Schnellzugsmaschinen und über den auf den Triebrädern lastenden Bruchteil des Gesamtgewichtes mag folgende Zusammenstellung eine Übersicht geben:

Lokomotive	Dienstgewicht	Achsdruck	Verhältnis
der franz. Nordbahn	50,46 t	31,01 t	0,614
Bahn Paris-Bordeaux	48,24 t	32,17 t	0,667
"	51,25 t	30,14 t	0,588
franz. Ostbahn	56,77 t	33,40 t	0,588
" Südbahn	53,33 t	32,67 t	0,613
engl. Caledonianbahn	55,42 t	38,30 t	0,691
" Glasgow und South-Westernbahn	49,48 t	32,21 t	0,651
Durchschnitt	52,13 t		0,630.

Die Güterzugsmaschinen haben teilweise bedeutend höhere Gewichte und infolge der mehrfachen — bis 5 fachen — Kuppelung von Triebrädern bessere Ausnutzung des Gewichtes zur Vermehrung der Adhäsion. Die schwersten überhaupt existierenden Lokomotiven dürften wohl die folgenden amerikanischen Maschinen sein:

Güterzugslokomotive der	Dienstgewicht	Achsdruck	Verhältnis
amerik. Great-Northern-bahn	96,48 t	78	0,809
New-York-Lake Erie-Bahn	88,43 t	78	0,882
North-Pacific-Bahn	84,34 t	68	0,806
Mexican Centralbahn	86,50 t	64,6	0,747

Selbstverständlich sind diese 12-rädrigen Maschinen infolge der Länge des gekuppelten Radstandes wenig zum Befahren von Kurven geeignet und bei einigermaßen erheblicher Geschwindigkeit würden sie leicht entgleisen. Als Schnellzugsmaschinen sind Maschinen mit mehr als zwei gekuppelten Triebrädern nicht zu gebrauchen.

Digitized by Google

Kraft erforderlich wäre, um eine Steigung von 1 : 100 zu überwinden, wie solche sogar in der Ebene nicht selten vorkommen, z. B. auf den am schnellsten befahrenen Strecken Berlin—Hamburg und Berlin—Halle.*)

Auf je 100 m Streckenlänge muß der ganze Zug dann um einen m in die Höhe gehoben werden. Die erforderliche Kraft, um den Zug senkrecht zu heben, wird dargestellt durch sein Gewicht, beträgt also $(4 \cdot 35 + 26 + 44 + x)$ t. Die zur Überwindung der Steigung notwendige Kraft entspricht dem 100. Teile des Gewichtes, also $(140 + 26 + 44 + x) \frac{1}{100}$ t. Wird diese Kraftleistung der oben für die Fahrt auf horizontaler Strecke berechneten hinzugefügt und diese Summe wieder dem siebenten Teile des Achsdruckes gleichgesetzt, so erhalten wir die Beziehung: $8(433 + 3{,}8x + 841)$ kg $+ 8(140 + 26 + 44 + x) \frac{1000}{100}$ kg $= \frac{3}{7} \cdot x \cdot 1000$ kg und hieraus $x = 55{,}1$ t.

Bei Überwindung der Steigung 1 : 100 muß also das Gewicht der Maschine mindestens 55,1 t betragen, damit die Maschine den Zug vorwärts bewegen kann und nicht die Triebräder auf den Schienen zu gleiten beginnen. Das von uns oben angenommene Gewicht von 50 t würde demnach zu klein sein, und wenn wir mit einer solchen Maschine trotzdem den Zug schleppen wollen, so müssen wir die Steigungen langsamer fahren und dadurch die gegen den Luftwiderstand zu leistende Arbeit herabsetzen, sonst würde selbst die stärkste Kraftentwicklung seitens der Dampfmaschine den Zug nicht über den Berg zu bringen vermögen.

Wenn nun bei durchaus ebener Bahnstrecke die Geschwindigkeitsleistung gesteigert werden soll, so bleibt nach dem oben Gesagten der Rollwiderstand der gleiche, nur der Luftwiderstand ist entsprechend zu vermehren. Wenn wir letzteren nach der früher mitgeteilten Tabelle für die auf einen Quadratmeter vom Luftdruck ausgeübten Kräfte in der für 81 km bereits durchgeführten Weise berechnen, so ergeben sich folgende gegen den Luftwiderstand aufzuwendende Kraftleistungen.

---

*) Anmerkung: Von den Betriebsstrecken der deutschen Staatsbahnen sind 31,18 % horizontal, 68,82 % weisen Steigungen auf und zwar betragen dieselben:

für	40,64 %	weniger als 1 : 200
	19,17 %	von 1 : 200—1 : 100
	8,85 %	„ 1 : 100—1 : 40
	0,16 %	„ 1 : 40 und mehr.

Die stärkste Steigung aller Vollbahnstrecken dürfte sich auf der bayrischen Linie Freilassing—Reichenhall finden, dieselbe hat teilweise Steigungen von 1 : 25. Noch größere Steigungen finden sich auf den Nebenbahnlinien Freiburg—Neustadt (1 : 18), Blankenburg—Tanne (1 : 17) und Reutlingen—Münsingen (1 : 10) doch können diese nur durch streckenweisen Zahnradbetrieb überwunden werden.

Digitized by Google

Geschwindigkeit in km/Stunde	Wagenflächen	Lokomotivfläche	Gesamter Luftwiderstand
81	374	467	841
120	755	944	1699
180	1586	1982	3568
200	1930	2412	4342
250	2937	3671	6608

Setzen wir genau wie oben die Beziehungen zur Berechnung des Lokomotivgewichtes x an unter Rücksichtnahme auf Steigungen 1 : 100, so ergeben sich die in der zweiten Spalte der nachstehenden Tabelle angeführten Zahlenwerte:

Geschwindigk. km/Stunde	Lokomotivgewicht	Rollwiderstand der Wagen	Rollwiderstand d. Tenders u. d. Lokom.	Luftwiderstand	Gesamt-Kraftlstg. in kg
81 km	55,1 t	266 kg	376	841	1483 kg
120 „	69,1 „		430	1699	2405 „
180 „	99,7 „		546	3568	4380 „
200 „	112,5 „		594	4342	5202 „
250 „	149,3 „		734	6608	7608 „

Wir sehen also, daß bei Zugleistungen von 200 km in der Stunde das Lokomotivgewicht bereits mehr als das doppelte, bei Leistungen von 250 km nahezu das dreifache des heutigen Gewichtes betragen müßte. Das Verhältnis der zur Fortbewegung der Wagen einerseits und zur Fortbewegung der Lokomotive und des Tenders andrerseits erforderlichen Kraft wird immer ungünstiger, sodaß wir bei 250 km Geschwindigkeit 3 mal soviel Kraft aufwenden müssen, um die Maschine und Zubehör selbst zu schleppen als für den ganzen übrigen Zug notwendig ist. Die von der Maschine zu leistende Kraft steigt dabei nahezu auf das Vierfache. Bei diesen Berechnungen ist noch nicht darauf Rücksicht genommen, daß auch die Tender infolge der mitzuführenden größeren Vorräte an Wasser und an Kohlen erheblich schwerer werden müßten.

Es ist uns nun auch ein Leichtes, die für die ins Auge gefaßten Geschwindigkeiten zur Fortbewegung des Zuges nötigen Pferdestärken der Lokomotive zu berechnen, indem wir nach dem physikalischen Grundsatze: Arbeitsleistung ist gleich Kraft mal Weg, die Kraftwirkungen mit den in der Sekunde zurückgelegten Strecken multiplizieren und berücksichtigen, daß die Arbeitsleistung von 75 kgm in der Sekunde als Pferdekraft bezeichnet wird. Wir erhalten so für die Fortbewegung des Zuges auf ebener Strecke:

Digitized by Google

81 km:	Pferdestärke	der	Lokomotive	circa	460
120 „	„	„	„	„	1050
180 „	„	„	„	„	2920
200 „	„	„	„	„	3820
250 „	„	„	„	„	7100

Die besten unserer heutigen Dampflokomotiven leisten 800—900 Pferdekräfte,*) es würden also nahezu 9 mal so starke Maschinen gebaut werden müssen, wenn wir die ideale Zugleistung von 250 km in der Stunde mit Dampfbetrieb auf durchaus ebener Bahnstrecke erreichen wollten, und diese Forderung dürfte selbst sehr sanguinisch veranlagten Maschinentechnikern als bedenklich erscheinen. Sollen Strecken von der Steigung 1 : 100 mit den angegebenen Geschwindigkeiten befahren werden, so würden die verlangten PS-Leistungen betragen: 1020, 1900, 4300, 13700, 28500. Sogar bei Steigungen von 1 : 300 d. h. also auf mehr als $^1/_3$ der deutschen Bahnstrecken sind noch erforderlich: 650, 1330, 3380, 7080, und 14230 PS.

Wir haben oben angeführt, daß bei den Versuchsfahrten Geschwindigkeiten bis 190 km bereits mit den heutigen Betriebsmitteln geleistet wurden. Aus unsern Rechnungen geht aber mit Notwendigkeit hervor, daß Dampflokomotiven solche Leistungen nicht liefern können, daß also noch eine andere Triebkraft und zwar die Beschleunigung der Züge auf abschüssigen Strecken mitgewirkt haben muß. Von der Versuchsfahrt einer Heilmann-

*) Anmerkung: Drei gute Schnellzugslokomotiven, die kürzlich zu Probefahrten auf der Strecke Stendal—Hannover benutzt wurden, leisteten bei durchschnittlich 89,4 | 88,6 | 87,3 km Geschwindigkeit 879 809 755 PS. Die Lokomotiven der französischen Nordbahn leisteten bei Probefahrten durchschnittlich 800 PS.

Außer diesen absolut zuverlässigen Zahlen liegen freilich höhere Angaben vor, doch sind dieselben meist so unvollständig und ungenau, daß eine rechnerische Nachprüfung nicht möglich ist. Eine neuere Heilmann-Lokomotive soll 1000, eine Schnellzugsmaschine der Atlantic-City-Bahn 1300 PS. entwickelt haben.

In Paris waren zwei Maschinen italienischer Bahnen ausgestellt, die für 100 km Stundengeschwindigkeit berechnet waren, und 7932 resp. 7730 kg Zugkraft angeblich leisten konnten. Dies würde 2960 und 2860 PS entsprechen. Es ist aber wahrscheinlich, daß die Zugkräfte nur beim Anfahren — also langsam — entwickelt werden, nicht aber bei 100 km Fahrgeschwindigkeit.

Güterzugslokomotiven können stärker gebaut werden, weil sie schwerer sind und weil bei ihnen mancherlei für Schnellzugsmaschinen maßgebende Rücksichten fortfallen. So war in Paris von der Firma Henschel in Kassel eine Güterzugsmaschine ausgestellt, die bei 71,5 t Gewicht (ohne Tender) 18735 kg Zugkraft bei 30 km Fahrgeschwindigkeit leisten konnte, das sind 2080 PS.

Für Schnellzugsmaschinen scheint aber 1500 PS. die höchstmögliche — bisher wohl noch nicht erreichte — Leistung zu sein. Auch die erwähnte Fränkel'sche Schnellzugsmaschine ist nur auf 1000 PS berechnet und soll nur Züge von 1—2 Wagen befördern.

Digitized by Google

Lokomotive mit einem 80 t wiegenden Zuge wird z. B. berichtet, daß bei der Thalfahrt auf einer Bahnstrecke vom Gefälle 1 : 125 die Geschwindigkeit von 100 km in der Stunde allein durch die Wirkung der Fallbeschleunigung, also ohne Maschinenkraft erreicht wurde.

Es würde demnach freilich mit den heutigen Betriebsmitteln möglich sein, bergab mit der gewünschten Schnelligkeit von 200 km zu fahren, bergan dagegen müßten wir uns nach wie vor mit Zugleistungen von 70 bis höchstens 90 km begnügen, und es ist vorläufig auch keinerlei Aussicht, daß Dampfmaschinen konstruiert werden können, die solchen erheblich größeren Ansprüchen genügen.

III.

Kraftleistungen bei elektrischem Betriebe.

Ganz anders und zwar erheblich günstiger gestalten sich die Kraftverhältnisse bei elektrischem Betriebe der Bahn. Die erforderliche elektrische Energie wird auf besonderen Kraftstationen erzeugt und durch später zu besprechende Vorrichtungen den Motoren im Zuge zugeführt. Die Motoren werden wie bei der Heilmann-Lokomotive direkt auf den Achsen des Motorwagens angebracht und zwar auf allen, sodaß das ganze Gewicht des Motorwagens als Adhäsionsdruck ausgenutzt wird. Der gleichmäßige Antrieb der Elektromotoren läßt ferner wie schon bei Besprechung der Heilmann-Lokomotive erwähnt wurde, die gefährlichen Schwankungen des Motorwagens fortfallen, sodaß die Gefahr einer Entgleisung bei gesteigerter Fahrgeschwindigkeit hier erheblich geringer wird.

Ein weiterer Vorteil dieses gleichmäßigen Antriebes ist es ferner, daß die ganze Kraft aller Motoren zusammen ausgenützt werden kann, während bei der Dampflokomotive die Zugkraft des einen Kolbens ihren vollen Wert immer erst dann erreicht, wenn der andere sich im sog. toten Punkte befindet, d. h. nahezu wirkungslos ist. Wir haben hier im besten Falle nur 75 % der möglichen Gesamtzugkraft zur Verfügung.

Die Motoren und der Stand des Maschinisten mit den nötigen elektrischen Schaltvorrichtungen nehmen so wenig Platz ein, daß sie in den Güterwagen eingebaut werden können, ohne dessen Raumverhältnisse wesentlich zu beschränken. Sein Gewicht wird dadurch freilich um etwa 40 t erhöht werden, sodaß wir es zu 66 t annehmen müssen. Es ist ferner möglich auch den Motorwagen auf Drehgestellen mit gefederten Achsen laufen zu lassen, sodaß sein Rollwiderstand ebenso wie bei den Personenwagen nur mit 1,6 kg pro t anzusetzen ist.

Digitized by Google

Ein weiterer Vorteil ergiebt sich daraus, daß die Vorderseite des Motorwagens leicht eine für Überwindung des Luftwiderstandes günstige d. h. zugespitzte Form erhalten kann. Nach neueren Messungen von Siemens & Halske kann der Luftwiderstand dadurch auf den 3. Teil des bei ebener Vorderfläche zu erwartenden herabgesetzt werden. Wir können daher den Luftwiderstand für die etwa 10 qm betragende Vorderfläche des Motorwagens in Rechnung setzen:

bei	81 km	130 kg
	120 „	263 „
	180 „	550 „
	200 „	670 „
	250 „	1020 „

Dazu kommt dann noch der Luftdruck gegen die wie oben mit je 1 qm anzusetzenden Vorderflächen der 4 D-Wagen im Betrage von: 156, 316, 660, 804 und 1224 kg.

Die gesamten Luftwiderstände haben also folgende Werte und es wird nützlich sein, dieselben mit den in Klammer beigefügten, für den entspr. Dampfzug gefundenen Zahlen zu vergleichen:

81 km	286 kg	(841 kg)
120 „	579 „	(1699 „)
180 „	1210 „	(2569 „)
200 „	1474 „	(4342 „)
250 „	2244 „	(6608 „)

Diese Zahlen sind noch sehr hoch bemessen, um die Luftreibung an den Seitenflächen des Zuges ebenfalls zu berücksichtigen. Für einen einzelnen Motorwagen nehmen Siemens & Halske bei 200 km Geschwindigkeit 900 kg Luftwiderstand an. Doch hat sich, wie oben bereits erwähnt wurde, ergeben, daß die berechneten Luftdruckwerte etwa $^1/_3$ größer sind als die gefundenen.

Wenn wir grade wie oben für den Dampfbetrieb hier die entsprechenden Rechnungen durchführen, so finden wir zunächst, daß selbst bei 250 km Geschwindigkeit und Steigungen 1 : 100 das erforderliche Mindestgewicht des Motorwagens, wenn er den als Beispiel angenommenen Zug von 4 D-Wagen und 1 Güterwagen — hier gleichzeitig Motorwagen — schleppen soll, nur etwa 34,1 t beträgt, da das ganze Gewicht desselben als Adhäsionsdruck ausgenutzt wird, wie schon erwähnt wurde, und außerdem der Zug infolge des Fortfalls der Lokomotive und des Tenders bedeutend leichter geworden ist.

Den erforderlichen Kraftbedarf können wir in der bereits früher auseinandergesetzten Weise leicht ermitteln. Es beträgt:

1) Rollwiderstand: 4 D-Wagen 4·35·1,6 kg = 224 kg
   Motorwagen 66·1,6 kg = 106 kg
2) Luftwiderstand wie oben angegeben.

Digitized by Google

Wir finden so folgende zur Fortbewegung des Zuges auf ebener Strecke und bei Steigungen 1 : 100 und 1 : 300 von dem Motorwagen zu leistende Pferdestärken:

Geschw.	Horizont.	1 : 100	1 : 300
81 km	189 P.S.	821 P.S.	399 P.S.
120 „	404 „	1310 „	706 „
180 „	1027 „	2400 „	1485 „
200 „	1323 „	2834 „	1827 „
250 „	2402 „	4325 „	3043 „

Diese Leistungen liegen nun keineswegs wie bei den von den Dampflokomotiven verlangten Pferdekraftzahlen außerhalb des Bereiches der Möglichkeit. Von der Studiengesellschaft für elektrische Schnellbahnen sind Motorwagen konstruiert, welche auf 4 Achsen zweier Drehgestelle 4 Motoren zu je 250 Pferdestärken enthalten, die aber für kurze Zeit auch das Dreifache, also im Ganzen 3000 Pferdestärken leisten können.

Ein weiterer Vorteil der günstigen Kraftverhältnisse bei den Elektromotoren ist die Beschleunigung des Anfahrens und Bremsens, sowie die damit verknüpfte Abkürzung der Anfahrstrecke und der Bremsstrecke.

Die theoretische Berechnung der Anfahrstrecke soll zunächst für einen D-Zug mit 81 km Geschwindigkeit ausgeführt werden, der, wie stets früher angenommen wurde, aus 4 Personenwagen, Güterwagen, Lokomotive und Tender besteht. Die von uns bereits ermittelte Kraftleistung stellt nur den Kraftverbrauch dar, welcher erforderlich ist, um den schon in voller Fahrt befindlichen Zug auf seiner Geschwindigkeit zu erhalten. Um dem Zuge diese Geschwindigkeit erst zu verleihen, ist aber nun ein besonderer Arbeitsaufwand erforderlich, der gleich ist der sogen. kinetischen Energie des bewegten Zuges. Diese letztere, die „Wucht" des bewegten Gewichtes ist dargestellt durch den Ausdruck $\frac{m}{2} v^2$ d. h. Hälfte der Gewichtsmasse multipliziert mit dem Quadrate der Geschwindigkeit. Das Gewicht des von uns früher als Beispiel angenommenen Zuges mit Dampflokomotive beträgt $(4 \cdot 35 + 26 + 44 + 50)$ t = 260 t oder 260 000 kg. Die Geschwindigkeit ist 23 m/sec. wenn wir also berücksichtigen, daß das Gewicht hier noch durch die Erdschwere 9,81 $\frac{m}{sec^2}$ zu dividieren ist:

$$\text{kin. Energie} = \frac{260\,000}{2 \cdot 9{,}81} \cdot 23 \cdot 23 \text{ kgm} = 7\,010\,000 \text{ kgm}.$$

Während der Anfahrtszeit nimmt der Zug von der Geschwindigkeit 0 anfangend alle Geschwindigkeiten an bis zur Endgeschwindigkeit 23 m, durchschnittlich also fährt er mit 11,5 m in der Sekunde. Der Rollwiderstand ist von Anfang an derselbe,

Digitized by Google

der Luftwiderstand nimmt aber von 0 kg bis zum Endwerte zu. Da diese Zunahme keine gleichmäßige, sondern eine beschleunigte ist, müssen wir den Durchschnittswert größer als die Hälfte des Endwertes (841 kg) etwa zu 500 kg annehmen. Die während der Anfahrtszeit zur Überwindung des Rollwiderstandes und des Luftdruckes geleistete Arbeit ist demnach:

Rollwiderstand (266 + 376) kg.
Luftwiderstand 500 kg

also • 1142 kg • 11,5 $\frac{m}{sec}$ = 13 130 $\frac{kgm}{sec}$ = 175 P. S.

Die Lokomotive soll 1000 P. S. leisten können, dann bleiben noch 1000—175 = 875 P. S. zur Lieferung der kinetischen Energie von 7 010 000 kgm übrig. Die 825 P. S. entsprechen einer Arbeitsleistung von 825 • 75 $\frac{kgm}{sec}$ = 61 890 $\frac{kgm}{sec}$. Um die 7 010 000 kgm zu leisten, müssen die 825 P. S. also $\frac{7\,010\,000}{61\,890}$ sec = 113 sec arbeiten. In dieser Zeit legt der mit 11,5 m durchschnittlicher Geschwindigkeit fahrende Zug etwa 1300 m zurück.*)

Um unsern Zug auf ebener Strecke mit der Geschwindigkeit von 120 km/std. zu befördern, würde, wie früher gezeigt, die 1000 pferdige Lokomotive noch eben hinreichen. Wenn wir die Anfahrtsstrecke wie eben berechnen, so erhalten wir folgende Zahlen:

kinet. Energie des Zuges:	15 210 000 kgm
Rollwiderstand:	(266 + 430) kg
mittl. Luftwiderstand:	1000 kg
mittl. Anfahrgeschwindigkeit:	16,5 m/sec.
Arbeitsleistung während des Anfahrens:	375 P. S.
bleiben zur Lieferung der kinet. Energie:	625 P. S. od. 46 890 kgm/sec.
Anfahrzeit:	324 sec.
Anfahrstrecke:	5353 m
Anfahrbeschleunigung:	0,10 m/sec.

Der diesem Dampfzuge entsprechende elektrische Zug, bestehend aus dem Motorwagen und 4 D-Wagen hat ein geringeres Gewicht als zuvor, nämlich 206 t. Die kinetische Energie bei den Geschwindigkeiten von 81 km und 120 km in der Stunde ist darum geringer wie oben, sie beträgt 5 • 554 000 kgm und 11 • 180 000 kgm. Der Rollwiderstand des Zuges ist 330 kg, der mittlere Luftwiderstand während des Anfahrens soll zu 170 kg und 350 kg angesetzt werden. Die zur Bewegung des Zuges auf der An-

*) Anmerkung. Es würde dies also einer Anfahrbeschleunigung von etwa 0,20 m/sec. entsprechen. Gewöhnlich werden die Anfahrbeschleunigungen für Damflokomotiven zu 0,5 – 0,15 m angegeben. Eine einheitliche Zahl dafür festzulegen, scheint aber unangebracht, da die Anfahrbeschleunigung in jedem Falle von anderen Faktoren abhängig ist.

Digitized by Google

fahrstrecke erforderliche Arbeitsleistung macht 77 P. S. und 150 P. S. aus, sodaß von den hier gleichfalls anzunehmenden 1000 P. S. noch 923 P. S. = 69 200 kgm/sec. und 850 P. S. = 63 800 kgm/sec. zur Lieferung der kinetischen Energie übrig bleiben. Die Anfahrzeiten, Anfahrwege und Anfahrbeschleunigungen berechnen sich dann wie folgt:

für:	81 km/std.	80 sec.	923 m	0,29 m/sec.
	120 km/std.	179 sec.	2960 m	0,19 m/sec.

Wenn wir diese Zahlen mit den oben erhaltenen vergleichen, so sehen wir daß der elektrische Zug bedeutend schneller bis zur Erreichung der Endgeschwindigkeit anfahren kann, als der entsprechende Dampfzug und daß dieser Vorteil um so mehr hervortritt, je größer die Endgeschwindigkeit ist.

Aber die Verhältnisse liegen in Wahrheit noch viel günstiger für die elektrische Traktion. Wenn es nur schwer gelingt, Lokomotiven von 1000 P. S. zu bauen und diese dann mit den 1000 P. S. ihre maximale Leistungsfähigkeit entwickeln, so können Motorwagen mit weit höheren Zugkräften ausgestattet werden. Die neuen Motorwagen der Studiengesellschaft für elektrische Schnellbahnen leisten bei gewöhnlicher Fahrt 1000 P. S., können jedoch auf kurze Strecken — d. h. beim Anfahren — sehr gut den dreifachen Betrag also 3000 P. S. entwickeln.

Wenn wir dem Rechnung tragen, so stehen uns zur Lieferung der kinetischen Energie 2923 P. S. resp. 2850 P. S. zur Verfügung und mit solcher Kraftentwicklung würde unser Zug folgende Anfahrzeiten u. s. w. ergeben:

für	81 km	25 sec.	291 m	0,92 m/sec.
	120 km	53 sec.	883 m	0,60 m/sec.

Die Anfahrbeschleunigungen erreichen also hier den 5—6 fachen Betrag der bei der Dampftraktion berechneten.*) Daß dies eine wesentliche Zeitersparnis bedeutet, bedarf keiner weiteren Erörterung. Einen weiteren Vorteil bietet das schnellere Anfahren mit elektrischer Traktion insofern, als zwischen zwei etwa 5 km auseinanderliegenden Stationen ein Dampfzug die Geschwindigkeit von 120 km garnicht erreichen könnte, während für den elektrischen Zug die Anfahrstrecke von 883 m schon genügt.

Eine theoretische Berechnung der Bremsstrecken ist nur schwer möglich, weil die Bremsklötze allmählich angezogen werden und weil daher ihre verzögernde Wirkung auf die Räder des Zuges eine ungleichmäßige, vom Werte 0 ab sich langsam steigernde ist. Die mit den Geschwindigkeiten von 81 km resp. 120 km in der

*) Anmerkung. Bei der elektrischen Hochbahn in Elberfeld sind Anfahrbeschleunigungen von 0,8—0,6 m/sec. bereits beobachtet. Die neuen Fernschnellwagen von Siemens & Halske erreichten Geschwindigkeiten von 200 km/std. nach 150 sec. also mit einer Anfahrbeschleunigung von 0,4 m/sec. Die Hochbahn Liverpool-Manchester erreicht 175 km/std. nach 107 sec. also mitd er Beschleunigung 0,60—0,45 m/sec.

Digitized by Google

Stunde fahrenden Dampfzüge haben, wie wir oben berechneten, kinetische Energieen im Betrage von 7010000 resp. 15210000 kgm. Wenn die Zugkraft des fahrenden Zuges plötzlich abgestellt wird, so wird die Fahrgeschwindigkeit allmählich bis 0 sinken, indem die kinetische Energie zur Überwindung des Rollwiderstandes und des Luftwiderstandes aufgezehrt wird. Grade wie die Anfahrstrecke wird auch die Bremsstrecke dann durchschnittlich mit der halben Endgeschwindigkeit, also mit 11,5 resp. 16,5 m/sec. durchfahren. Nehmen wir die Arbeitsleistung gegen die Widerstände bei diesen durchschnittlichen Geschwindigkeiten wie oben zu 13130 $\frac{kgm}{sec}$ und 27920 $\frac{kgm}{sec.}$ an, so ergiebt sich das Resultat, daß ohne die geringste Wirkung der Bremsklötze die beiden Züge sich nach 524 resp. 545 secd. auf den Bremsstrecken von 6140 m und 8990 m totlaufen würden. Die hieraus berechneten freiwilligen Verzögerungen der Fahrgeschwindigkeiten betragen 0,04 und 0,06 m/sec.

Die ideale Wirkung der Bremsen würde erreicht werden, wenn plötzlich durch das Anpressen der Bremsklötze sämtliche Räder des Zuges an der Umdrehung verhindert und auf den Schienen schleifen würden.*) Um unsern Zug zu schleifen ist unter Zugrundelegung des Reibungskoeffizienten $^1/_5$ für Eisen auf

*) Anmerkung: Diese Behauptung steht in scheinbarem Widerspruch mit der z. B. von Pippart und von Douglas Galton beobachteten Thatsache, daß die größte Bremswirkung nicht dann eintritt, wenn die Räder auf den Schienen schleifen, sondern dann, wenn sie sich grade noch zwischen den Bremsklötzen drehen. Die folgende Überlegung vereinigt aber die beiden Gesichtspunkte miteinander. Die Kraft welche das Rad zwischen den Bremsklötzen dreht, ist proportional der Reibung auf den Schienen. Bei rollender Reibung beträgt sie etwa 2/1000 des Raddruckes. Wird die Bremse angezogen, also die Widerstandskraft der Bremsklötze vermehrt, so fängt das Rad allmählich an auf den Schienen zu schleifen, und die dasselbe zwischen den Bremsklötzen drehende Kraft nimmt der Reibung auf den Schienen entsprechend zu bis zu dem Endwerte von $^1/_6$ oder im besten Falle $^1/_5$ des Raddruckes. Erreicht die Pressung der Bremsklötze diesen Wert, so kommt das Rad zwischen ihnen zum Stillstand. Niemals kann also die von den Bremsklötzen ausgeübte Kraftleistung die der schleifenden Reibung auf den Schienen übersteigen solange das Rad sich noch dreht. Beim Schleifen auf den Schienen wird aber nur eine verhältnismäßig kleine Partie des Radumfanges gerieben, die Wärme kann nicht schnell genug abfließen und mit steigender Temperatur nimmt bekanntlich der Reibungskoeffizient ab. Schleift das Rad aber bei demselben Drucke gegen die Bremsklötze, so verteilt sich die Wärmeentwicklung auf den gesamten Radumfang und die Reibung wird weniger beeinflußt. Eben diese Abnahme der Reibung bei Erwärmung kommt auch in den von Wichert mitgeteilten Koeffizienten der Reibung zwischen Rad und Bremsklotz bei verschiedenen Zuggeschwindigkeiten zum Ausdruck. Für 10 km/std. beträgt der Koeffizient $^1/_5$, für 90 km/std. nicht mehr ganz $^1/_{10}$. Die maximale Bremswirkung kann also berechnet werden als die beim Schleifen des Rades auf den Schienen geleistete Arbeit, wenngleich der hierbei thatsächlich beobachtete Energieverbrauch den berechneten Wert nicht erreicht.

Digitized by Google

Eisen eine Kraft nötig, die $^1/_5$ des Zuggewichtes (260 resp. 280 t) beträgt, wenn das Adhäsionsgewicht diesem letzteren zunächst gleich gesetzt wird, d. h. wenn alle Räder mit Bremsen versehen sind. Schleift diese Kraft den Zug in der Sekunde über die Strecke von 11,5 resp. 16,5 m hin, so leistet sie die Arbeit von $\frac{260\,000}{5}$ 11,5 kgm resp. $\frac{280\,000}{5}$ 16,5 kgm in der Stunde. Diese Energiebeträge müssen den kinetischen Energieen entnommen werden und somit würden die letzteren durch die idealen Bremswirkungen in 14 resp. 20 sec. völlig vernichtet sein, d. h. die Züge würden halten. Die Bremsstrecken würden betragen: 162 m und 333 m, die Bremsverzögerungen in beiden Fällen: 1,64 m/sec.

Berücksichtigt man ferner, daß gewöhnlich nicht das ganze Zuggewicht abgebremst wird, sondern nur ein Bruchteil desselben, bei den Bremsversuchen auf der Arlbergbahn z. B. 70 %, so wird die Bremsverzögerung in dem gleichen Verhältnis zu vermindern und nur mit dem idealen Werte 1,15 m/sec. anzusetzen sein.

Alles bis hierher Gesagte bezieht sich auf die ideale Bremswirkung, wo die Wirksamkeit der Bremsklötze gleich mit dem vollen Betrage einsetzt. Wird dieselbe aber erst allmählich gesteigert, so ist die Bremswirkung naturgemäß entsprechend kleiner. Bei den bereits erwähnten Versuchen auf der Arlbergbahn betrug die Verzögerung durch Bremsen mit durchgehender pneumatischer Bremse durchschnittlich etwa 0,70 m/sec. Mit den gegenwärtig wohl am besten funktionierenden Bremsen (Luftdruckbremsen mit elektrischer Auslösung von Siemens & Halske) wurden nach Mitteilung des Ingenieurs Wagner Verzögerungen bis zu 1,13 m/secd. erreicht, die wohl als das Maximum der mechanischen Bremswirkung angesehen werden können.

Bei den elektrischen Bahnen erhalten wir trotz der geringeren kinetischen Energie der fahrenden Züge dieselben Zahlen für die Wirkung der mechanischen Bremsen, da das Gewicht des Zuges bei der Berechnung der Bremsverzögerungen herausfällt. Die Überlegenheit der elektrischen Züge besteht hier vor allem darin, daß durch Kurzschluß der Motoren neben der mechanischen auch eine elektrische Bremsung erreicht werden kann. Nach einer Mitteilung des Ingenieurs Behr betrug die mechanische Verzögerung bei dessen elektrischer Einschienenbahn 0,90 m/sec. die elektrische Verzögerung 0,45, sodaß die gesamte Retardierung von 1,35 m/sec. erreicht werden konnte. Die neusten Fernschnellwagen von Siemens & Halske lassen die elektrische Verzögerung von 0,49 m/sec. zu, sodaß also der elektrische Zug bei gleicher Endgeschwindigkeit in etwa $^2/_3$ der Zeit und auf $^2/_3$ der Bremsstrecke zum Stehen gebracht werden kann, als ein entsprechender Dampfzug.

Der Vorteil einer solchen Abkürzung des Bremsweges ist im wesentlichen der gleiche wie bei der Abkürzung des Anfahrweges,

Digitized by Google

außerdem tritt hier noch dazu die Möglichkeit durch schnelles Anhalten des Zuges Zusammenstöße und Entgleisungen bei Zerstörung des Schienenweges zu verhüten.

Aus unsern bisherigen Darlegungen geht also hervor, daß die Dampflokomotiven nicht imstande sind, die Kraftleistungen zu liefern, die eine Zug-Geschwindigkeit von 120—250 km in der Stunde bei völlig ebener Bahnstrecke erfordern würde. Außerdem, selbst wenn die fortschreitende Technik Maschinen von genügender Zugkraft zu bauen lernte, würde das notwendige Lokomotivgewicht so hoch angenommen werden müssen, daß das Gewicht des übrigen Zuges dagegen weit zurückbleibt. Die sozusagen nutzlos mitgeschleppte Last wird ungeheuer, und die Kosten des Betriebes wachsen dementsprechend an. Schließlich würden solche forcierte Fahrten mit Dampflokomotiven höchst gefährlich sein und zudem den Eisenbahnunterbau, d. h. die Gleisstrecke infolge des hohen Zuggewichtes und der Lokomotivstöße bedenklich angreifen.

Alle diese Nachteile fallen beim elektrischen Antriebe fort. Die erforderte Zugkraft wird geringer, weil Lokomotive und Tender unnötig werden, der Zug selbst besitzt ein viel kleineres Gewicht als der Dampfzug, und die Elektromotoren können den nötigen Kraftbedarf schon beim heutigen Stande der Technik sehr gut liefern. Die Gefahren der schnellen Bewegung werden hier durch Vermeidung des ungleichseitig stoßenden Antriebes erheblich verringert, und der Unterbau braucht nicht in gleich hohem Maße stärker gewählt zu werden, als der heutigen Bauart schon entspricht.

Das Problem einer schnelleren Eisenbahn-Verbindung kann demnach nur gelöst werden, wenn die Dampfkraft als Zugmittel verlassen und die elektrische Energie dafür nutzbar gemacht wird.

Wir werden im Folgenden nun zu erörtern haben, ob die nötigen Kostenaufwendungen und sonstige betriebstechnische Rücksichten nicht etwa der Einführung des elektrischen Betriebes noch erhebliche Hindernisse entgegensetzen, resp. welche Grenzen für die zu erreichenden Zuggeschwindigkeiten auch bei elektrischer Traktion dieselben bedingen, wieweit also praktische Rücksichten die Herabsetzung unserer idealen Zugleistung von 300 km in der Stunde erfordern.

IV.

Vergleichung der Kosten des elektrischen und des Dampfbetriebes.

Es ist in den vorhergehenden Betrachtungen auseinandergesetzt worden, daß es vorläufig aus mehreren Gründen unmöglich scheint, den fahrplanmäßigen Betrieb bei erhöhten Zuggeschwindigkeiten mit Dampflokomotiven durchzuführen, und daß nur die

Digitized by Google

elektrische Energie als Zugkraft in Frage kommen kann. Wie stellt sich aber nun der Kostenpunkt? Ist nicht vielleicht die Einführung der elektrischen Traktion mit unerschwinglichem oder doch wenigstens in keinem Verhältnis zum Nutzen der Sache stehendem Kostenaufwande verbunden?

Wir werden diese Frage in Folgendem dahin beantworten können, daß eine elektrische Lokomotive schon bei den heutigen Geschwindigkeitsverhältnissen die Beförderung des Zuges unter geringerem Kohlenverbrauch leisten kann als die Dampflokomotive, und daß bei den uns vorschwebenden forcierten Zugleistungen diese ökonomische Überlegenheit der elektrischen Traktion immer mehr hervortritt.

Erstens erfordert ja, wie wir bereits oben sahen, die Fortbewegung eines elektrischen Zuges weit weniger Pferdekraftleistungen als die eines Dampfzuges zur Beförderung der gleichen Personenzahl. Bei 120 km Stundengeschwindigkeit müßte die Dampflokomotive 1050 Pferdekräfte entwickeln, die elektrische nur 404; und bei 200 km Zugleistung ist das Verhältnis noch ungünstiger für die erstere, nämlich 3820 : 1323. Der elektrische Zug ist deshalb leichter zu bewegen, weil er nicht eine besondere Lokomotive und einen Tender mit Wasser und Kohlen zu schleppen braucht, und weil seine sämtlich auf Drehgestellen montierten Wagen weniger Rollwiderstand besitzen als die ungefederten Achsen der Lokomotive und des Tenders. Wir wollen zur Illustration dieser Kraftverschwendung beim Dampfbetriebe einige der Praxis entnommene Zahlen anführen.

Vom Baurat von Borries wird berichtet über Probefahrten von Schnellzügen, die auf der 126 km langen Strecke Stendal—Hannover mit drei der besten Lokomotiven der preußischen Bahnverwaltung unternommen wurden, um die maximale Leistungsfähigkeit der heutigen Betriebsmittel festzustellen. Die von den drei Maschinen hierbei entwickelten Pferdekräfte beliefen sich auf 878,9, 808,9, 754,5. Zur Fortbewegung der Wagen außer Lokomotive und Tender wurde aber nur etwas mehr als die Hälfte dieser Kraftleistungen, nämlich 490,8, 469,0, 424,4 Pferdekräfte in Anspruch genommen, der Rest diente zum Schleppen der toten Lasten der Lokomotive und des Tenders.

Eine recht lehrreiche Berechnung über die Summen, welche der unnütze Transport allein der Tender jährlich verschlingt, giebt Dr. Böhm-Nassay für die ungarischen Bahnen. Die sämtlichen Lokomotiven der in Frage kommenden Strecken legten im Jahre 1898 zurück: 4217000 Lokomotivkilometer. Wird das Gewicht des Tenders sehr gering durchschnittlich zu 20,1 t angenommen, so entsprach die für die Tender allein im Jahre aufgewendete Zugleistung 84 761 700 Tonnenkilometer. Die Traktionskosten für ein Tonnenkilometer Last werden angegeben zu 0,444 Kreuzer.

Digitized by Google

Die Gesamtsumme, die im Jahre durch Fortfall des Tenders allein erspart werden könnte, beläuft sich demnach auf nicht weniger als 376 639 Gulden, d. h. ungefähr 9 % der gesamten Traktionskosten.

In Wahrheit würde die Ersparnis noch größer ausfallen, denn in dem von uns früher berechneten Beispiele machte das Tendergewicht 44/260 also etwa $^1/_6$ der gesamten Zuglast aus, das vom Tender mitgeführte Wasser (18 t) allein nahezu $^1/_{12}$. Wir würden also beim Dampfbetriebe schon sparen können, wenn wir keine Wasservorräte mitzuschleppen brauchten, die Kohlenfracht wird nicht wohl zu vermeiden sein, weil eine Ergänzung während der Fahrt nicht überall möglich sein würde. Außerdem ist ihr Gewicht stets geringer (etwa 5 t). Das zur Erneuerung der Kesselfüllung und zur Kondensation erforderliche Wasser ist leicht auf der ganzen Strecke an die Bahnlinie heranzuführen, aber wenn der Zug fortwährend zur Wasseraufnahme halten müßte, so würde dieses nicht nur einen erheblichen Zeitverlust, sondern auch eine Brennmaterialverschwendung bedeuten, wie wir weiterhin sehen werden, die den beabsichtigten Nutzen illusorisch machen könnte. Man hat deswegen Versuche angestellt, um den Lokomotiven das Wasser während der Fahrt zuzuführen. In gewisser Höhe befinden sich zwischen den Gleisen sog. Ramsbottom-Langtröge, in welche die mit voller Geschwindigkeit darüber hinwegfahrende Maschine ein nach vorn umgebogenes Rohr hinabläßt. Durch den Druck des bewegten Rohres wird das erforderliche Wasserquantum in diesem innerhalb weniger Sekunden bis in den Kessel oder ein kleines Reservoir hinaufgedrückt. Daß man für nötig befunden hat, solche Einrichtungen ernstlich in Erwägung zu ziehen, ist ein Beweis für die Wichtigkeit, welche jeder Verminderung der Traktionskosten beizumessen ist.

Wenn nun die elektrische Zugbeförderung schon auf ebenen Strecken eine wesentliche Verminderung des Kraftbedarfs bedeutet, so tritt dies umsomehr hervor, wenn die Bahnlinie Steigungen zu überwinden hat. Hier muß die kolossale Last der Lokomotive und des Tenders nutzlos die Anhöhen hinaustransportiert werden und dieser Arbeitsaufwand kann nicht einmal bei der Thalfahrt wieder ausgenutzt werden. Im Gegenteil, man muß bergab langsamer mit einem schweren Zuge fahren als mit einem leichten, um nicht die Herrschaft über die bewegte Masse zu verlieren. Es mag leicht scheinen, daß dieser Gesichtspunkt in Anbetracht der nach Möglichkeit eben angelegten Linienführung der Bahnen nicht sehr ins Gewicht fallen kann. Die Statistik belehrt uns aber, daß von den in Deutschland (1899) befahrenen 49 041 Betriebskilometern nur 31,18 % horizontal liegen, 68,82 % dagegen Steigungen haben, und zwar etwa 18 400 km geringere, 12 600 größere — und zwar zum Teil erheblich größere — Abweichungen von der Horizontalen als 1 : 200.

Digitized by Google

Weiterhin kommt noch die Leichtigkeit hier in Frage, mit der die sämtlich auf Drehgestellen montierten Wagen des elektrischen Zuges die Kurven befahren können. Die nicht gegeneinander verschiebbaren Lokomotivachsen klemmen sich in der Schienenkrümmung fest und vermehren so den Rollwiderstand nicht unbeträchtlich. Auch dieser Faktor ist durchaus nicht gering anzuschlagen, denn etwa 30 Proz. der Gleise sind in Kurven verlegt.

Schließlich werden die Kosten des Anhaltens auf den Stationen bei elektrischem Betriebe erheblich geringere infolge der Verkürzung der Brems- und Anfahrstrecken. Rechnen wir bei bester betriebsmäßiger Bremsung*) die Bremsstrecke eines Schnellzuges von 80 km Durchschnittsgeschwindigkeit zu 1,2 km und 2 km für die Anfahrstrecke, so werden diese 3,2 km nur mit der halben Durchschnittsgeschwindigkeit (als dem Mittelwert zwischen der ganzen Geschwindigkeit und der Ruhe) durchfahren. Wir büßen also etwa 1,6 km Fahrt ein. Dasselbe Resultat ergiebt sich auch aus der Betrachtung, daß die kinetische Energie des Zuges im Betrage von 7 010 000 kgm beim Bremsen vernichtet (s. ob. S. 20) und beim Anfahren wieder gewonnen werden muß. Die Beförderung des Zuges über die Strecke von 1m erfordert aber die Arbeit von 1483 kgm, also entspricht der beim Anhalten verlorene Energiebetrag dem Traktionsaufwande des Zuges auf die Strecke von (7 010 000 : 1483) m d. h. etwa 4,73 km. Da nun der Zug beim Bremsen und Anfahren über die Strecke von etwa 3,2 km befördert ist, beträgt der wahre Verlust 4,73—3,2 = 1,53 km. Also nahezu dasselbe Resultat wie oben. Es kostet ferner der von der Lokomotive zurückgelegte Kilometer Fahrt durchschnittlich 11,2 Pf. an Kohlen u. s. w., jedes Anhalten erfordert also einen durchschnittlichen Aufwand von 20 Pf. (sehr gering gerechnet!) Im deutschen Reiche sind auf die etwa 50 000 km lange Betriebsstrecke der Eisenbahnen rund 10 000 Stationen verteilt. Jeder Kilometer Strecke wird im Jahre von nahezu 10 000 Zügen befahren, ebensoviel passieren also durchschnittlich jede Station. Halten die Züge im Durchschnitt nur an jeder zweiten Station an, so werden im Jahre — sehr gering gerechnet — 5000 . 10 000 . 20 Pf. d. h. also etwa 10 000 000 M. Bremskosten bei Dampfbetrieb anzusetzen sein.

Die kinetische Energie eines entsprechenden elektrischen Zuges hatten wir oben zu 5 554 000 kgm festgestellt, also zu etwa $^4/_5$ des beim Dampfzuge berechneten Betrages. Wir haben beim Anhalten des elektrischen Zuges daher nur $^4/_5$ der Schwungkraft zu

*) Anmerkung: Die oben berechneten Bremsstrecken sind Minimalwerte, die etwa im Falle einer Gefahr erreicht werden könnten. Für gewöhnlich wird man auf die dadurch verursachte Abnutzung des Materials Rücksicht nehmen und deshalb ist die „betriebsmäßige" Bremsung etwa nur mit dem 6Teile der „Schnellbremsung" anzusetzen. (0,20m Verzögerung.)

Digitized by Google

vernichten und wieder neu zu leisten. Wir werden also $^1/_5$ der Kosten, das sind 2 Millionen Mark jährlich allein hierdurch ersparen können. Dazu kommt noch, daß die Lokomotive während des Anhaltens unter Volldampf gehalten werden muß, und ganz nutzlos Kohlen verfeuert, bei dem elektrischen Motor hört dagegen mit dem Abstellen der Leitung jeder Kraftverbrauch vollständig auf. Die Haltezeiten können ferner auf das zum Ein- und Aussteigen erforderliche Mindestmaß beschränkt werden, wenn nicht mehr Rücksicht auf die Dauer der Kohleneinnahme und der Wasserzufuhr für die Dampfmaschine zu nehmen ist.

Die elektrischen Motoren haben weiter die Eigentümlichkeit — wie schon früher erwähnt wurde — daß sie nach Abstellung des treibenden Stromes ihrerseits als stromerzeugende Generatoren wirken, wenn sie durch eine mechanische Kraft — hier die noch ungebremste Wucht des fahrenden Zuges — zur Umdrehung gezwungen werden. Der Strom kann entweder in Ballastwiderständen in Wärme umgesetzt oder bei Drehstrommotoren sogar rückwärts in die Zuleitung geschickt wereen, sodaß der beim Bremsen erzeugte Strom den Zuleitungsstrom verstärkt. Man gewinnt auf diese Weise etwa $^3/_4$ der beim Bremsen zu vernichtenden Energie nutzbar wieder. Die Bremskosten werden auch hierdurch noch erheblich gegen die bei Dampftraktion erforderten herabgesetzt.

Eine nicht unwesentliche Ersparnis von Zeit und Geld bedingt ferner auch die Fähigkeit der elektrischen Motoren zeitweise ihre Kraftentwicklung ohne Weiteres auf das Dreifache und mehr zu steigern und dadurch die Anfahrzeit und Anfahrstrecke zu verkürzen. Ein Dampfzug erreicht die Geschwindigkeit von 80 km erst nach 2 km langer Anfahrt, ist die nächste Station von der ersten nur 4 km entfernt, so muß er gleich nach Eintritt der Höchstgeschwindigkeit dieselbe durch Bremsen wieder vernichten, es würde sich also die Erzielung der Zugleistung von 80 km in diesem Falle garnicht verlohnen. Der elektrische Zug braucht aber nur 300 m zum Anfahren und höchstens 1000 m zum Bremsen. Er kann also mehr als 2 km der 4 km langen Strecke mit voller Geschwindigkeit durchfahren.

Unsere bisherigen Überschlagsrechnungen bezogen sich durchweg auf Zuggeschwindigkeiten, die den heutigen Verhältnissen entsprechen. Bei erhöhten Zugleistungen würden die Resultate sich noch bedeutend zu Gunsten der elektrischen Traktion verschieben. Die Lokomotiven müssen schwerer werden, damit ihr Achsdruck die Ausnutzung der vergrößerten Zugkraft gestattet, die Tender müssen größere Vorräte an Wasser und Kohle aufnehmen können und deshalb selbst größer und schwerer gebaut werden. Das Überwinden von Steigungen wird um so schwieriger, je schneller diese Arbeitsleistung von der Maschine geliefert werden muß und je größer die tote Last derselben ist; das Bremsen und

Digitized by Google

Anfahren erfordert einen größeren Kraftaufwand, weil die lebendige Kraft des bewegten Zuges wächst, sogar die Kraftverschwendung während des Aufenthaltes wird empfindlicher. Schon aus diesen Gesichtspunkten ist es also geboten, späterhin zur elektrischen Traktion überzugehen, wenn auch unter gegenwärtigen

Fig. 3. Befestigung der Fahrleitung an den Isolatoren.

Verhältnissen deren Rentabilität gegenüber der Dampftraktion noch diskutabel sein könnte.

Aber selbst bei gleichem Kraftbedarfe ist es rationeller, dem Zuge die Triebkraft auf elektrischem Wege von außen zuzuführen, als dieselbe in der Lokomotive selbst zu entwickeln. Die stationären Dampfmaschinenanlagen können ganz so gebaut werden, wie eine möglichst günstige Ausnutzung der in der Kohle aufgespeicherten Energie es erfordert, bei der Konstruktion der Loko-

Digitized by Google

motiven dagegen kommen noch Rücksichten der Gewichtsverteilung auf den Achsen, der Zusammendrängung des Mechanismus auf kleinem Raume u. s. w. hinzu, die dem Gesichtspunkte der Kohlenersparnis teilweise geradezu entgegenstehen.

Die neueren Lokomotivtypen arbeiten gewöhnlich mit forcierten Züge, indem neben dem durch die schnelle Fahrt erzeugten

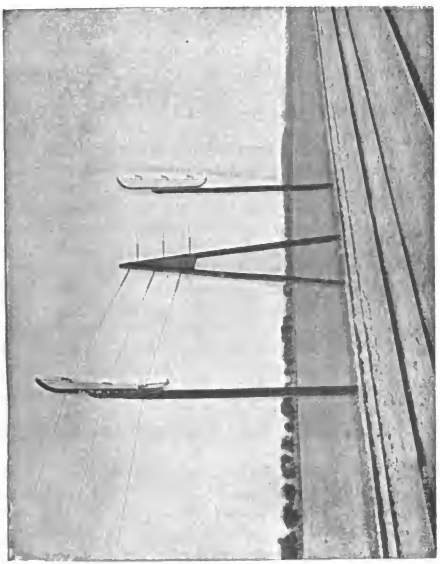


Fig. 4. Fahrleitung für hochgespannten Drehstrom. Mit Abspannung gegen Seitenzug.

Luftzuge auch die Wirkung des in den Schornstein auspuffenden Cylinderdampfes benutzt wird, um die Verbrennung der Kohle auf den Rosten lebhafter zu machen. In den besten Maschinen wird heute durch die Verbrennung von 1 kg Kohle nicht weniger als etwa 7,3 kg Wasser in Dampf verwandelt. Bei den stationären Dampfkesseln wird zumeist nicht mit forcierten Züge gearbeitet, um die Kesselwandungen zu schonen. Die Kessel des neuen städtischen Elektrizitätswerkes in Dresden verdampfen nur 4,3 kg Wasser auf das kg Kohlen. Mit verstärktem Zuge und

Digitized by Google

bei Vorwärmung des Speisewassers können aber natürlich auch in stationären Anlagen größere Verdampfungszahlen erreicht werden. Dr. Böhm-Raffay giebt den durchschnittlichen Wert von 7,8 kg Wasser auf 1 kg Kohle an.

Entschieden ungünstiger ist aber bei den Lokomotiven die Ausnutzung des erzeugten Dampfes. Die Reibungswiderstände in der Maschine selbst sind hier größer und die Übersetzungsverhältnisse leiden sehr unter der räumlichen Zusammendrängung. Während hier im besten Falle etwa 8 kg Dampf zur Erzeugung einer am Triebrade gemessenen Pferdekraftstunde notwendig sind, wird in stationären Dampfmaschienen dasselbe schon meist mit etwa 5,2 kg Dampfverbrauch erreicht. Auf diese Weise ergiebt sich schließlich das Resultat, daß zur Entwicklung einer Pferdekraftstunde bei der Lokomotive ein Kohlenbedarf von etwa 1,13 kg erforderlich ist, bei der stationären Dampfmaschine hingegen nur von 0,6 kg.

Die am Treibriemen der letzteren gemessene Kraftleistung darf freilich noch nicht ohne Weiteres mit der Arbeit der Lokomotive verglichen werden, denn die Erzeugung der elektrischen Energie in einer Dynamomaschine, die eventuell nötige Transformierung auf höhere Spannung, die Leitung des Stromes bis zum Elektromotor, die Rücktransformierung der Hochspannung auf die Arbeitsspannung und die Ausnutzung der elektrischen Energie im Motor bedingen gewisse, nicht unerhebliche Verluste. Wir wollen die bei der Kraftübertragung Lauffen-Frankfurt im Jahre 1891 gewonnenen Resultate zu Grunde legen und folgende Wirkungsgrade annehmen.

1. Die Dynamomaschine giebt 93,5 Proz. der auf sie wirkenden mechanischen Energie (Dampfmaschinenleistung) als elektrische Energie heraus.

2. Der Transformator erhöht die Spannung zum Zwecke des geringeren Verlustes bei der Fernleitung unter Herabsetzung des ihm gelieferten Energiequantums auf 96,1 Proz.

3. Die Leitung des Stromes bei 15 000 Volt Spannung bedingt auf Entfernungen von 175 km einen Verlust von 15 Prozent. Diese Zahl kann durch Erhöhung der Spannung wesentlich herabgesetzt werden. So wird berichtet, daß die amerikanische Telluride-Kompagnie bei Anwendung von 40 000 Volt Spannung auf 90 km nur 4 Proz. der Energie verliert und bei der Anlage der Bahn Mailand-Gallarate ist der Spannungsverlust einer Leitung von 13 000 Volt nur zu 1,8 % bei 40 km Entfernung angesetzt. Es soll aber die erstgenannte Zahl als gültig in die Rechnung eingesetzt und die am Rücktransformator anlangende hochgespannte Elektrizitätsmenge mit 85 Proz. der in die Leitung hineingeschickten angenommen werden.

Digitized by Google

4. Den Wirkungsgrad des Rücktransformators wollen wir auf 95,7 Proz. und

5. Den Wirkungsgrad des Motors auf 82 Proz. annehmen.

Alle diese Zahlen sind jedenfalls zu ungünstig angenommen. Dies ist aber notwendig, da gezeigt werden soll, daß selbst unter solchen Verhältnissen die elektrische Triebkraft sich billiger stellt als die Dampftraktion.

Durch Multiplikation der Wirkungsgrade 93,5 Proz., 96,1 Proz., 85 Proz., 95,7 Proz., 82 Proz. erhalten wir den Gesamtwirkungsgrad der elektrischen Anlage zu 67,2 Proz., d. h. eben dieser Prozentsatz, der von der stationären Dampfmaschine gelieferten Kraftleistung kommt an den Triebrädern des Motorwagens zur Geltung und kann direkt mit der Kraftleistung der Lokomotive verglichen werden. Dem Kohleverbrauch der letzteren von 1,13 kg pro Pferdekraftstunde sind also $0{,}6 \cdot \frac{1}{67{,}2} = 0{,}892$ kg an die Seite zu stellen, das sind etwa 80 Proz. des Betrages.

Wir können also dieselbe Traktionsleistung unter Ersparung von 20 Proz. des Kohlenverbrauchs erzielen, wenn wir statt der fahrenden stationäre Dampfkessel und elektrische Übertragung der Energie anwenden. Da im deutschen Reiche jährlich etwa für 45 000 000 M. Kohlen zum Betriebe der Lokomotiven erforderlich sind, so würde die Ersparnis von etwa 9 000 000 M. sich aus der Einführung der elektrischen Traktion — bei gleichen Kraftleistungen — ergeben.

Nun sind aber, wie früher auseinandergesetzt wurde, die Kraftleistungen im Falle des elektrischen Betriebes wesentlich geringer. W. Langdon berechnet die thatsächliche Verminderung des Kohlenverbrauchs auf 34 Proz. Aus Angaben über die Traktionskosten der Jsarthalbahn beim früheren Dampfbetriebe und beim jetzigen elektrischen entnehmen wir sogar 36 Prozent. Eine amerikanische Bahn, die Nantasket-Linie, verbrauchte früher für den Betrieb auf der 5,6 km langen Strecke Nantasket-Junction bis East-Weymouth täglich 8 t Kohlen, jetzt auf der 11,3 km langen Strecke Nantasket—Pemberton bei gleich starken Anforderungen nur 4 t. Die Ersparnis an Kohlen würde also hier etwa 75 Proz. betragen. Es scheint diese Angabe freilich ein wenig hoch, doch kann ihre Richtigkeit im Hinblick auf noch andere vorliegende Zahlen nicht mit Sicherheit bestritten werden.

Auch die in der Gegenwart häufig ventilierte Frage einer doppelten Besetzung der Lokomotiven mit Mannschaften würde ihre einfache Erledigung finden. Eine große Menge von Wärme und Kohlen ging bisher dadurch verloren, daß die Maschinen während der Ruhezeit ihrer Bedienungsmannschaften kalt werden und erst wieder zum Betriebe angeheizt werden müssen. Es ist deswegen verschiedentlich vorgeschlagen, mit Hülfe einer doppelten Besetzung

Digitized by Google

die Lokomotiven im stetigen Dienste zu erhalten und die unnützen Kohlenverluste dadurch zu vermeiden. Bei Einführung der elektrischen Traktion hört aber nach Ausschaltung des Stromes jeder Kraftverbrauch auf und jederzeit kann der Motor durch Einschaltung des Stromes sofort wieder in Betrieb genommen werden.

Die elektrischen Kraftstationen würden zweckmäßig in der Nähe großer Städte anzulegen sein, wo sie außer der Zugkraft für die durchgehenden Eisenbahnlinien auch noch die Speisung von Lichtanlagen, den Betrieb von Straßenbahnen u. s. w. zu versorgen hätten. Durch aufgestellte Akkumulatorenbatterieen könnte die Beanspruchung des Werkes gleichmäßig reguliert werden und die Traktionskosten für die Eisenbahn würden sozusagen nebenbei abfallen. Ganz besonders günstig ist es natürlich, wenn Wasserkräfte zur Energielieferung zur Verfügung stehen. Dieselben brauchen nicht einmal direkt an der Bahnlinie gelegen zu sein, denn die Technik der elektrischen Übertragung ist schon soweit fortgeschritten, daß die Entfernungen von 50 km und mehr gut überwunden werden können, und es ist wohl zweifellos, daß in Zukunft mit der Regulierung unserer großen Flüsse eine Ausnutzung der in ihrem Laufe noch schlummernden Energiemengen Hand in Hand gehen wird. Die Kohlen werden kaum jemals wieder in ihrem Preise sinken und immer mehr stellt sich die Notwendigkeit heraus, die Wasserläufe als Arbeitstiere einzuspannen. Der Rhein allein wäre imstande durch Ausnutzung seines Gefälles von Basel bis Wesel sämtliche in Deutschland jetzt erforderliche Maschinenarbeit zu leisten.

Der elektrische Betrieb der Bahnen würde sich also, wie aus dem oben Gesagten hervorgeht, in jedem Falle billiger stellen als der Betrieb mit Dampflokomotiven, ganz besonders bei Heranziehung der Wasserkräfte. Es bleibt nur die Frage zu erörtern, ob auch im ungünstigsten Falle die Ersparnis an Betriebskosten ausreichen würde zur Verzinsung der für die Neuanlage aufzuwendenden Kapitalien.

Die Anlagekosten für 1 km Betriebslänge belaufen sich in Deutschland gegenwärtig auf etwa 254 000 M. Rechnen wir für Befestigung des Unter- und Oberbaues, wie solche dringend erforderlich sein würde bei Zugleistungen von 200 km in der Stunde, 40 000 M., für Anlage der Leitungen 8000 M., für Kraftwerke (1 Kraftwerk von 5000 Pferdekraft Leistungsfähigkeit auf je 50 km zu 2 000 000 M.) so würde das Kapital um 88 000 M. pro Betriebskilometer größer werden. Die Einnahmen betragen heute pro Betriebskilometer etwa 43 000 M., die Gesamtausgaben 57,5 Proz. hiervon, etwa 25 700 M., sodaß durch den Reingewinn von 17 300 M. das Anlagekapital mit etwa 7 Proz. verzinst wird. Um das Zuschlagskapital von rund 90 000 M. ebenso zu verzinsen, wäre nötig eine Einnahme von 6 300 M. Die

Digitized by Google

bisherige Einnahme müßte also von 43 000 auf 48 300 M. oder für das deutsche Reich (50 000 km) insgesamt um 315 000 000 steigen. An diese Möglichkeit ist natürlich in keiner Weise zu denken, denn das käme einer Erhöhung sämtlicher Fahrpreise und

Fig. 5. Durchblick durch den Schnellbahnwagen der Allg. Elektrizitätsgesellschaft Berlin.

Frachttarife um 10 Proz. gleich. Auch selbst wenn wir nicht so pessimistische Zahlen in unsere Berechnungen einführen, bleibt doch immer das betrübende Resultat übrig, daß an eine baldige Einführung des elektrischen Fernschnellbetriebes auf sämtlichen Bahnen nicht zu denken ist. Einige Hauptlinien, wie Berlin—Hamburg

Digitized by Google

u. s. w. könnten ja mit Zuschüssen aus anderweitigen Staatsmitteln für den elektrischen Betrieb eingerichtet werden. Dieselben werden aber Jahrzehnte brauchen, ehe sie ihr Anlagekapital trotz des billigeren Betriebes amortisiert haben. Wenn also die allmähliche Einführung der elektrischen Traktion auch nicht unmöglich genannt werden darf, so muß doch vor allzu sanguinischen Projekten, die Dampftraktion sogleich durchweg zu verdrängen, gewarnt werden.

V.

Betriebstechnische Rücksichten für und wider die Einführung des elektrischen Schnellbahn-Betriebes.

Es kann nach den Resultaten des vorigen Abschnittes nicht zweifelhaft sein, daß der elektrische Schnellbahn-Betrieb im Laufe der Zeit auf allen Bahnen eingeführt werden wird, aber auch, daß dieser Übergang von den bisherigen Traktionen und Geschwindigkeitsverhältnissen zu den neuen nur ein ganz allmählicher sein kann. Es werden daher zunächst einzelne Strecken elektrisch betrieben werden und wenn wir dieselben nicht vom gesamten andern Verkehr abschließen, durchgehende Personen- und Güterwagen also von vornherein unmöglich machen wollen, so müssen wir die Bedingung strengstens erfüllen, daß die Wagen des neuen Betriebsmaterials auch auf den alten Strecken ohne Weiteres laufen können. Jede Änderung der Spurweite, des Wagenprofils, der Kuppelungen u. s. w. verbietet sich also von selbst. Auch neue Schienensysteme wären nur bedingt zulässig.

Häufig wird als besonderer Vorzug des elektrischen Bahnbetriebes angeführt, daß es dann möglich sein würde, die langen Züge in einzelne Motorwagen aufzulösen und dadurch häufigere Gelegenheit zur Beförderung zu geben. Auch würden die Kraftstationen dann gleichmäßiger angestrengt werden und mithin würden sie rationeller arbeiten können. Dies letztere ist freilich richtig, doch war schon oben darauf hingewiesen, daß man die Kraftwerke kaum anders anlegen wird, als so, daß sie neben der Traktionskraft für die Bahn noch wesentliche andere Funktionen zu erfüllen haben, deren Leistung mit Hülfe von Akkumulatoren-Pufferbatterieen den wechselnden Kraftbedarf für die Bahn gänzlich auszugleichen gestatten würde.

Die Auflösung eines Zuges in Einzelwagen verteuert die Beförderung zudem sehr wesentlich. Erstens muß jeder Wagen als Motorwagen gebaut sein, erfordert daher mehr Anschaffungs- und auch Unterhaltungskosten als ein gewöhnlicher Personenwagen und bietet noch nicht einmal soviel Raum für die Personen-

Digitized by Google

beförderung wie der letztere. Sein Gewicht und sein Rollwiderstand werden größer und — was die Hauptsache ist — der gesamte Luftwiderstand des Zuges ist bei jedem Einzelwagen ebenfalls zu überwinden.

Es würden ferner die Vorteile dieses fahrplanlosen Systems garnicht so erhebliche sein. Auf den noch mit Dampfbetrieb ausgestatteten Bahnlinien bleibt der Verkehr natürlich nach Fahrplänen geregelt, und wenn man den Anschluß an eine andere Bahn erreichen will, wird man statt wie heute mit einem für den Anschluß rechtzeitig abgelassenen Zuge, doch mit einem zu ungefähr derselben Zeit abgehenden Einzelwagen fahren müssen. Die Vorteile der fahrplanlosen Beförderung können nur im Lokalverkehr in bemerklicher Weise hervortreten. In späteren Jahrhunderten ist es vielleicht zu erreichen, daß man z. B. vom Frankfurter Zentralbahnhof alle fünf Minuten nach überall hin abfahren kann. Vielleicht haben die Naturwissenschaft und die Technik aber dann Mittel und Wege gefunden, die das Reisen überhaupt überflüssig machen. Wir wollen uns im Vorliegenden nur mit den in nächster Zeit erreichbaren Fortschritten des Bahnwesens befassen und von diesem Gesichtspunkte aus ist die Beibehaltung fahrplanmäßiger Züge durchaus zu empfehlen, wenngleich die Zweckmäßigkeit einer Vermehrung und entsprechende Verkürzung derselben nicht bestritten werden kann.

Sehr dienlich würde aber die Abschaffung der I. Wagenklasse sein. Nur 0,34% aller Reisenden benutzt dieselbe und sie bringt trotz des hohen Fahrpreises nur etwa 4 % der Gesamteinnahmen aus dem Personenverkehr ein. Auch die IV. Klasse wird wohl allmählich verschwinden können, ohne daß die Fahrpreise wesentlich geändert zu werden brauchen. Je weniger nämlich die Reisenden in Klassen sortiert werden, desto leichter ist es, den vorhandenen Platz voll auszunutzen und die bisherige durchschnittliche Ausnutzung im Betrage von 26 % läßt bekanntlich noch viel zu wünschen übrig.

Wenn die Züge der elektrischen Schnellbahn mit 120—200 km Stundengeschwindigkeit fahren sollen, so wird der bisherige Gleisbau sich nicht dauerhaft genug erweisen. Die Schienenstöße würden zu heftig werden und geringe Verschiebungen in der Schienenlage könnten leicht Entgleisungen herbeiführen. Es wird also ein stärkeres und schwereres Schienenprofil mit sorgfältig unterstützten Stößen gewählt werden müssen und auch für den Unterbau wird sich die bisherige Kiesbettung nicht mehr als haltbar genug zeigen, da geringe Rutschungen des Unterbaues bei Thauwetter, die jetzt noch ganz unbedenklich sind, späterhin den sicheren Betrieb ernstlich gefährden müßten.

Digitized by Google

Digitized by Google

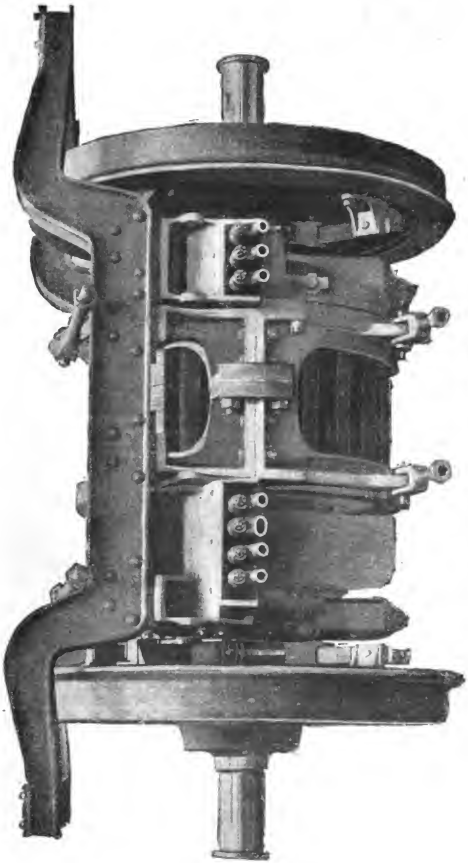


Fig. 7. Motor mit Rahmen (M. E. G.)

Digitized by Google

Fig. 6. Federnde Kuppelung mit Gleitstücken (M. E. G.)

Digitized by Google

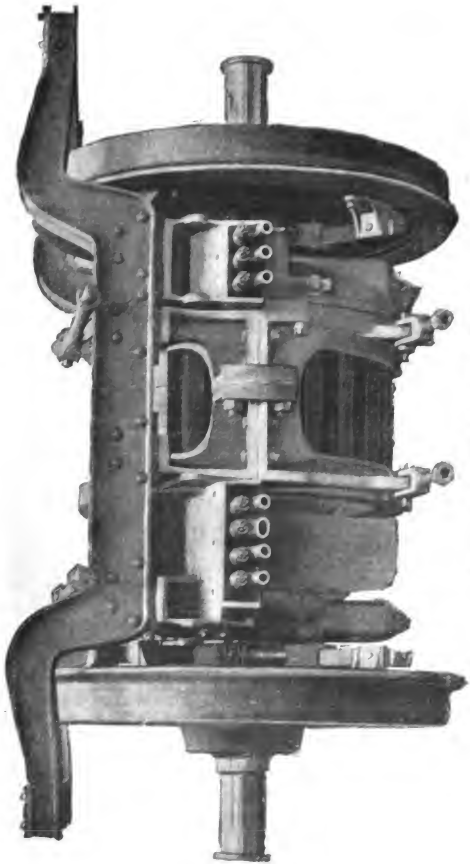


Fig. 7. Motor mit Rahmen (A. E. G.)

Digitized by Google

Ist freilich einmal Unterbau und Oberbau der Gleisanlage genügend verstärkt, so werden die bisherigen Unterhaltungskosten von 4450 M. pro Betriebskilometer (2690 M. Oberbau, 440 M. Unterbau u. s. w.) sich um ein Beträchtliches verringern, nicht nur weil der Bau an sich dauerhafter ist, sondern auch weil die elektrischen Wagenzüge leichter sind und gleichmäßiger, weniger stoßend, fahren als die Dampfzüge, die Schienen folglich in geringerem Maße abnutzen. Die einzelnen Reparaturen freilich werden teurer werden, auch wird die Überwachung der Strecke ein verstärktes Personal erfordern. Wir dürfen daher die Summe von 4450 M. pro km keineswegs einfach als Gewinn rechnen, wie dies häufig geschieht, wenn die Rentablität des elektrischen Betriebes mit aller Gewalt bewiesen werden soll.

Die beiden Gleisstränge würden etwas weiter auseinander zu legen sein, als dies heute geschieht, denn namentlich in den Kurven könnte die Ausdehnungskraft der zwischen zwei sich begegnenden Zügen eingeengten Luft leicht ein Umwerfen des einen verursachen. Die Brücken, Viadukte u. s. w. wären gleichfalls entsprechend zu verbreitern und zu verstärken, die Tunnels würden zweckmäßig nur dem einen Gleise eingeräumt werden, und ein Paralleltunnel müßte für das zweite Gleis gebrochen werden.

Eine weitere Umgestaltung der Bahnlinien wird voraussichtlich bedingt werden durch die Unmöglichkeit, die heutigen Kurven mit so erheblich gesteigerten Geschwindigkeiten zu befahren. Wenn der Zug eine Kurve passiert, so hat die Zentrifugalkraft das Bestreben, die Wagen nach außen aus dem Gleise zu drängen, um so mehr, je schneller die Bewegung und je kleiner der Kurvenradius ist. Man begegnet dieser Gefahr dadurch, daß man das äußere Gleis höher legt und den Zug so nötigt, anzusteigen, wenn er aus der Gleismitte nach der Seite drängen will. Die Räder sind, um dies zu erleichtern, kegelförmig gestaltet, und bieten sozusagen eine schiefe Ansteigefläche dar. Je größer die Gefahr eines Ausweichens des Zuges aus dem Gleise ist, je höher also die Geschwindigkeit und je kleiner der Kurvenradius, desto schiefer muß die Ebene gelegt werden, auf welcher der Zug anzusteigen genötigt ist, desto mehr muß also die Überhöhung des Außengleises über das Innengleis betragen. Für die Zuggeschwindigkeit von 200 km rechnet Petersen die erforderliche Überhöhung zu nicht weniger als 70 cm aus. Bei solcher Schräglage würden Züge mit der angegebenen Geschwindigkeit zwar die Strecke befahren können, wird die Geschwindigkeit aber verringert, oder hält der Zug in der Kurve an, so würde er unfehlbar nach der Seite umfallen. Es ist daher nicht richtig, daß man die heutigen Kurven nicht mit Schnellbahnen befahren könnte, sondern nur, daß sie dann für langsameren Verkehr (Güterzüge u. s. w.) unbefahrbar werden. Der Minimalradius würde nach diesem Ge-

Digitized by Google

sichtspunkte zu 1000 m etwa zu bemessen sein, während er jetzt selbst auf den am schnellsten befahrenen Strecken bedeutend weniger (z. B. Berlin-Halle 330 m) beträgt.

Aber auch solche Kurven würden noch allen Anforderungen nicht genügen. Beim Aufsteigen preßt der Zug die obere Schiene stark nach außen, und es wären ganz besondere Vorrichtungen nötig, um diese bei Kurven von 1000 m am seitlichen Ausweichen zu verhindern. Man wird aus diesem Grunde den Mindest-Radius noch weiter erhöhen müssen, nach der Schätzung verschiedener Fachleute sogar auf 3000—4000 m.

Im hügeligen Terrain ist das Umgehen von kleinen Erhebungen dann natürlich nicht mehr möglich. Die Bahnlinie kann sich dem Gelände nicht mehr anpassen und muß die Anhöhen durch gradliniges Auf- und Absteigen überwinden. Dies hat aber bei elektrischem Betriebe gar kein Bedenken. Die zum Befahren der Steigungen erforderliche Kraft kann leicht von den Motoren geleistet werden, und im Gefälle kommen die Vorzüge der elektrischen Bremsung zur Geltung.

Eine andere sehr einleuchtende Möglichkeit, die heutigen Strecken trotz ihrer starken Kurven mit gesteigerter Geschwindigkeit zu befahren, bietet die Anlage von elektrischen Schwebebahnen. Auf diese Projekte werden wir später ausführlich zurückzukommen haben.

Recht schwer würde auch die Frage der Signalgebung an Züge, die mit 50 m Sekundengeschwindigkeit dahinsausen, zu lösen sein. Ehe der Lokomotivführer das Haltezeichen recht zu erkennen vermag, ist er bereits vorbeigefahren, und auch die Einführung von ausgedehnten Streifen, auf denen das Auge längere Zeit haften kann, wird nicht genügende Sicherheit vor dem Überfahren der Signale bieten. Ein sehr bequemes Mittel, den Zug auch trotz mangelnder Aufmerksamkeit des Zugpersonals bei elektrischen Betriebe zum Halten zu bringen, bietet sich aber in der Möglichkeit, durch Abstellen des Stromes in der Leitung an einem z. B. an der Bahnwärterbude angebrachten Kontakt den Motoren die Fortbewegungsenergie zu entziehen, und dies wird wohl schließlich die einzige Möglichkeit bleiben, Züge auf freier Strecke im Notfalle anzuhalten.

Die schnelle Aufeinanderfolge von Einzelwagen (in 10 und noch weniger Minuten Abstand) ist auch deswegen unmöglich, weil eine genügende Zugdeckung durch Blockstationen nicht angängig sein würde. Es würden Unglücksfälle durch das Auffahren des folgenden Wagens auf den vorhergehenden sich fast unausbleiblich einstellen, wenn letzterer durch irgend einen Zufall auf freier Strecke angehalten werden müßte.

Auch die Sicherung des übrigen Verkehrs gegen Unfälle bei Kreuzung der Eisenbahngleise würde besondere Maßregeln er-

Digitized by Google

fordern. Die Wegeübergänge dürften grundsätzlich keine Niveau-Übergänge bleiben, sondern müßten unter oder über dem Eisenbahngleis geführt werden. Daß die Hochspannungsleitungen besondere Gefahren für die Nachbarschaft der Bahnanlage bieten würden, ist nicht wahrscheinlich. Schon jetzt werden ja in den belebtesten Straßen der Städte Spannungen von 500 Volt und mehr für die Straßenbahnwagen durch offene Drahtzuführungen transportiert. Die Berührung eines solchen Drahtes ist natürlich für den Betreffenden mit Todesgefahr verbunden, und mehr wie erschlagen kann doch schließlich auch eine Spannung von 40 000 Volt den Unvorsichtigen nicht. Vor mutwilligen Berührungen wird die Stromleitung nie sicher zu schützen sein, und Unglücksfälle können genügend vermieden werden, wenn jedes Passieren des Eisenbahndammes durch Unberufene aufhört. Bei Drahtbrüchen treten außerdem die später zu beschreibenden selbsttätigen Erdschlüsse in Funktion und machen die heruntergefallenen Drahtenden so gut wie stromlos.

Zum Schluß ist noch die wichtige Frage des Güterverkehrs bei der Umgestaltung der Traktion zu erörtern. Wir würden auch hier billigere Lastenbeförderung mit elektrischem Antriebe erreichen als bisher. Außerdem würden die Güterzüge infolge der nötigenfalls zur Verfügung stehenden größeren Zugkraft der Elektromotoren schneller als gegenwärtig fahren können.

Dadurch würden die Erledigung des Gütertransportes und die Ausnutzung des Wagenmaterials ganz bedeutend günstiger gestaltet werden können. Ferner würden die bisherigen Sammelzüge von oft fast unglaublicher Länge leichter in kürzere Einzelzüge zerlegt werden können — natürlich nur innerhalb gewisser Grenzen. — Einmal würde hierdurch die Rangierarbeit auf den Zweigstationen bedeutend erleichtert, und dann würden die Wagen nicht solange wie bisher an Kreuzungspunkten der Bahnen zurückgehalten werden müssen, ehe eine die Beförderung verlohnende Anzahl zusammengestellt werden kann. Als Folge dieser Umstände würde sich die Möglichkeit ergeben, die Rangierbahnhöfe, Standgleise und Güterschuppen erheblich zu verkleinern. Der zur Anlage der Kraftwerke nötige Platz wäre also ohne Kostenaufwand zu gewinnen und deshalb ist von dieser Ausgabe bei der Berechnung der Anlagekosten für die Elektrizitätswerke von vornherein auch abgesehen worden.

Gegen die Einführung des elektrischen Vollbahnbetriebes sind vielfach auch militärische Rücksichten geltend gemacht worden. Einmal ist die Befürchtung ausgesprochen, daß im Falle einer Mobilmachung die auf einzelnen Strecken durch die Truppentransporte erheblich gesteigerten Anforderungen an die Traktionskräfte zwar durch eine Ansammlung von unabhängigen Lokomotiven geleistet werden könne, daß aber die elektrischen Kraftanlagen den

Digitized by Google

plötzlichen Mehrbedarf nicht würden liefern können. Dieser Einwand ist richtig, aber nicht stichhaltig. Es wird wohl lange Zeit dauern, ehe die Dampflokomotive verschwindet, und besonders die Güterzüge werden wohl so bald noch nicht durchweg elektrisch befördert werden können. Bis dahin stehen auf den andern Bahnlinien dann stets genug Lokomotiven bereit, um den elektrischen Betrieb auf der zeitweilig überlasteten Linie zu unterstützen, denn daß die Strecken für beide Traktionen gleichmäßig eingerichtet sein müssen, ist schon oben ausdrücklich betont worden.

Weiter ist die Abhängigkeit des gesamten Verkehrs auf einer Bahnlinie von der elektrischen Zentrale aus strategischen Gründen als höchst bedenklich bezeichnet worden. Hat der Feind diese durch einen Handstreich zerstört, so hätte er den ganzen Verkehr auf 100 km und weiter unterbunden. Auch dieser Einwand ist nicht ausschlaggebend. Man kann die Zentralen in der Nähe der Grenzen ja in Festungen und Forts verlegen, und schlimmstenfalls werden zunächst wohl grade auf den Grenzlinien genügend Dampflokomotiven angesammelt sein, um das Fehlen der elektrischen Traktionskraft zu kompensieren.

Wir können auf Grund unserer Darlegungen also zu dem Schlusse kommen, daß aus betriebstechnischen Rücksichten sich keinerlei Gesichtspunkte ergeben, die eine allmähliche Umwandlung des Lokomotivbetriebes in elektrischen Betrieb unmöglich machen würden. Eine erhebliche Umgestaltung der Schienenwege ist allerdings durchaus erforderlich, wenn wir größere Beförderungsgeschwindigkeiten für den Personenverkehr erreichen wollen.

VI.

Die ersten Projekte elektrischer Fernschnellbahnen.

Der amerikanische Eisenbahningenieur Crosby war wohl der erste, der mit dem Plane hervortrat, elektrische Bahnen für den Verkehr auf größere Entfernungen zu bauen. In der Zeitschrift „Electrical World" brachte er im Jahre 1890 detaillierte Angaben über die Einrichtung eines elektrischen Schnellverkehrs auf der Strecke New-York—Chicago.

Diese Idee erschien zunächst etwas amerikanisch, und man beschäftigte sich mit der Frage erst ernstlicher, als der Chefingenieur Zipernowsky der weltbekannten Budapester elektrischen Firma Ganz u. Co. auf dem internationalen Elektrotechnischen Kongreß in Frankfurt a. M. 1891 ein ganz konsequent und eingehend durchgearbeitetes Projekt vorlegte, die Städte Wien und Budapest durch eine mit der kolossalen Geschwindigkeit von 250 km in der Stunde verkehrende elektrische Bahn zu verbinden. Neben der wesentlichen

Digitized by Google

Abkürzung der Fahrzeit war auch der in Aussicht gestellte Zehnminuten-Verkehr einzelner Wagen ein bestechendes Moment seiner Vorschläge. Zipernowsky zog aus der Überlegenheit der elektrischen Traktion gleich die äußersten Konsequenzen, und deshalb bleibt sein Projekt auch heute noch interessant, obwohl wesentliche Einschränkungen zu machen sein werden, ehe es in die Wirklichkeit umgesetzt werden könnte.

Die Maximalgeschwindigkeit giebt er auf 250 km in der Stunde, an und sicher würde er eine noch größere angenommen haben, wenn nicht die Unmöglichkeit, Räder und Achsenlager für solche Inanspruchnahme dauerhaft genug zu konstruieren, dem entgegengestanden hätte. Der Umfang der Räder müßte sich mit der Geschwindigkeit von mehr als 70 m in der Sek. drehen, was schon nahe an die Fluggeschwindigkeit der älteren Geschosse herankommt, und selbst bei Verwendung des besten Materials würden die Radreifen gelegentlich auseinanderfliegen. Die Lagerung der Räder in den Achsen würde bei den verlangten Drehungszahlen unmöglich genügend gekühlt werden können, und deshalb wollte Zipernowsky seine Wagen auf Rädern von 3 m Höhe laufen lassen, um die Zahl der Umdrehungen möglichst herabzusetzen bei Wahrung der erforderlichen peripherischen Geschwindigkeit.

Diese bis ziemlich zur Gesamthöhe des Wagens hinaufreichenden Räder sollten aus je zwei am Rande konisch abgeschrägten Stahlplatten zusammengeschraubt werden, sodaß für die Führung auf der Schiene nicht nur wie gewöhnlich ein innerer, sondern auch ein äußerer Spurkranz vorhanden sein würde. Der Zweck dieser Maßnahme ist, bei dem Befahren von Kurven, die infolge der großen Geschwindigkeit beträchtlich anwachsenden Drucke auf die überhöhte Außenschiene auch auf die Innenschiene durch das Anlegen des äußeren Spurkranzes beim inneren Rade zu übertragen. Ein gewisser Spielraum, 5 mm, müßte für die Schiene in diesem Doppelspurkranze natürlich bleiben, damit etwaigen Wärmeausdehnungen der Achse Rechnung getragen werden kann.

Die Einzel-Motorwagen sollten 45 m lang, 2,2 m hoch und 2,150 m breit werden. Die Enden der Wagen will Zipernowsky paraboliſch zuſpitzen, um den entgegenstehenden Luftdruck leichter zu durchschneiden, aber trotz der günstigen Form der Widerstandsfläche berechnet er die gegen denselben aufzuwendende Arbeitsleistung auf 250 Pferdekräfte. Die mit 40 Personen belasteten Wagen würden etwa 60 t wiegen und auf zwei Drehgestellen zu je zwei Achsen in Federlagern ruhen. Bei der ganz ungewöhnlichen Länge der Fahrzeuge war es notwendig, besondere Rahmengestelle mit Gitterträgern für dieselben zu entwerfen und zur Erreichung eines möglichst sicheren und ruhigen Ganges die Schwerpunkte so tief zu legen, als nur irgend angängig war. Entgleisungen wird durch letztere Maßnahme so gut wie vollständig vor-

Digitized by Google

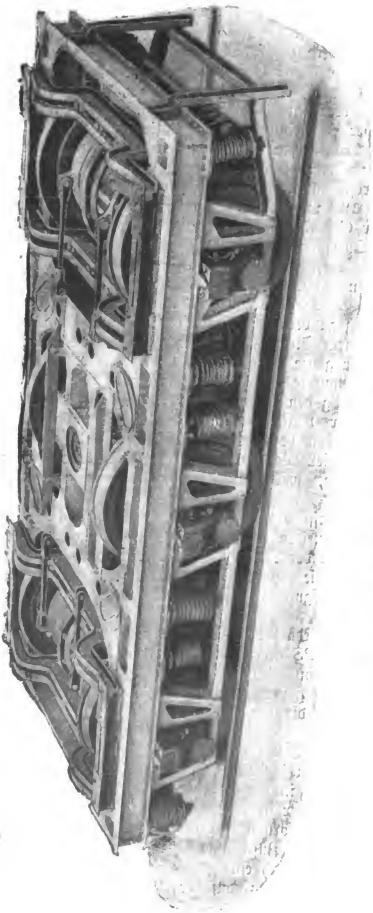


Fig. 8. Drehgestelle mit eingebauten Motoren (A. E. G.)

Digitized by Google

gebeugt, und sollte wirklich durch Unzulänglichkeit der Schienen einmal der dieselben auf eine Strecke von nahezu einem Meter umfassende Radkranz zum Ausspringen gebracht werden, so würde der Wagen nur einige Centimeter fallen und dann auf den tiefliegenden Gitterträgern schleifen. Außer einem kleinen Stoße und dem stark gebremsten Anhalten des Wagens würden die Reisenden also von der Entgleisung nicht viel merken.

Daß der bisherige Eisenbahnunterbau den neuen Anforderungen nicht genügen würde, betont Zipernowsky sehr energisch. Das Schienenprofil müßte bedeutend schwerer gewählt werden, am besten wären die 180 mm hohen Vignol-Riesen-Schienen von 50 kg pro Meter Gewicht. Die Verbindung der Schienen müßte durch Stahlguß-Querschwellen mit Stahlgußfröschen hergestellt werden, die Bettung derselben könnte nicht auf der bisher üblichen Kieslage erfolgen, sondern müßte durch Betonfundamentierung sicherer gelegt werden. Hohe Dämme wären wegen der zu befürchtenden Erdbewegung zu vermeiden, zweckmäßiger würden alle Terraineinschnitte durch Steigungen des Schienenstranges zu überwinden sein, oder die ganze Bahnlinie wäre nach Art der Berliner Stadtbahn auf gemauerte Viadukte zu verlegen. Dies letztere würde dann gleichzeitig den Vorzug bieten, daß das Bahnniveau dem Straßenverkehr völlig entrückt wird. Die beiden Nachbargleise will Zipernowsky mit Rücksicht auf den Luftdruck bei der Begegnung zweier Wagen nicht weniger als 10 m von einander entfernt anlegen, was freilich wohl etwas zu reichlich bemessen sein dürfte.

Ganz zutreffend wird ferner hervorgehoben, daß Steigungen weniger zu vermeiden sein werden als zu starke Bahnkurven. Für die letzteren soll der Mindestradius 3000 m angenommen werden, und die Bahnlinie soll zur Überwindung etwaiger Terrainhindernisse lieber Steigungen bis zum Verhältnis 1 : 10 in Kauf nehmen.

Den Kraftbedarf berechnet Zipernowsky für den einzelnen Wagen zu 250 PS gegen den Luftwiderstand, 100 PS gegen den Rollwiderstand und 450 PS zur Hebung des Fahrzeuges auf Steigungen, im ganzen also 800 PS. Zur Erzeugung dieser Zugkraft würden die vier Achsen des Wagens mit je einem 200-pferdigen Elektromotor ausgerüstet werden, der mit einem Gleichstrom von 1000 Volt gespeist wird. Die elektrische Kraft sollen zwei Kraftwerke in je 60 km Entfernung von den Endstationen liefern und zwar in der Form eines Wechselstroms von 10 000 Volt Spannung, der in Abständen von je 2 km in den Wärterbuden durch Transformatoren in den Arbeits-Gleichstrom umgewandelt wird. Die Zuführung des Stromes in die Wagen selbst denkt Zipernowsky durch eine zwischen den Laufschienen angebrachte Mittelschiene zu erreichen, auf der Kontakträder von 2 m Durchmesser den Strom abnehmen.

Digitized by Google

Besonders in betriebstechnischer Hinsicht wurde das Zipernowsky'sche Projekt von Schiemann in einer Broschüre (Leipzig 1897, Oskar Leiner) weiter ausgestaltet. Von den vielen originellen Einzelheiten sollen hier nur zwei Erwähnung finden.

Daß beim Anhalten der Züge auf den Stationen viel Zeit und Kraft verloren geht, wurde schon früher erörtert. Schiemann will dem eine Station in voller Fahrt passierenden Wagen die Reisenden nun in der Weise zuführen, daß ein Lokalwagen auf einem Nebengleise, sozusagen im Hinterhalte, den Moment abwartet, wo der Streckenwagen vorbeifährt. Dann fährt der Lokalwagen mit gesteigerter Geschwindigkeit hinterher, holt den Streckenwagen ein und kuppelt sich elektromagnetisch an ihm fest. Durch eine vorzuschiebende Verbindungsbrücke mit Harmonikaklappe können die Passagiere nunmehr bei voller Fahrgeschwindigkeit übersteigen und andrerseits auch den Streckenwagen verlassen. Sowie dies beendigt ist, wird die Kuppelung gelöst, der Lokalwagen fährt nach der Station zurück und kann eventuell auf einer Reihe von kleineren Zwischenstationen anhalten, ohne daß die Fahrzeit des Streckenwagens hierdurch beeinträchtigt wird.

Ein ähnlicher Vorschlag ist übrigens auch neuerdings noch von anderer Seite gemacht worden. Die Lokalwagen sollen diesem zufolge aber nicht dasselbe Gleis benutzen wie die Streckenwagen, sondern, um Weichenanlagen beim Durchgangsgleis zu vermeiden, neben dem Fernwagen auf einem besonderen Gleise herfahren und sich von der Seite in ähnlicher Weise, wie soeben beschrieben wurde, festlegen.

Eine andere wichtige Umgestaltung der bisherigen Betriebsform schlägt Schiemann für den Güterverkehr vor. Auch diesen will er durch Einzelmotorwagen mit Geschwindigkeiten von 200 km und zwar ausschließlich des Nachts, erledigen. Die Anschaffungskosten für die nötige Zahl von Motorwagen erscheinen aber selbst Schiemann bedenklich, der sich sonst durch finanzielle Schwierigkeiten wenig in seiner Zuversichtlichkeit stören läßt. Er will deshalb die Güter in kleinere Wagen verladen, die dann nach Art der Möbelwagen auf Motor-Untergestelle gefahren und an der Ankunftsstation einfach wieder heruntergeschoben werden. Die Motorgestelle würden dann nicht durch die Entladefristen aufgehalten und könnten rationeller ausgenutzt werden. Auch sonst hätte dies System noch den großen Vorteil, daß die „Möbelwagen" direkt bis ins Haus des Bestellers gefahren werden könnten, der ganze Frachtverkehr sich somit also „ohne Umladen" abspielen würde.

Indessen kehren wir von diesen Projekten à la Jules Verne wenigstens eine Stufe näher zur Wirklichkeit zurück! Daß die Vorschläge von Zipernowsky-Schiemann technisch schließlich durchführbar sein würden, hat noch niemand bestritten, wohl aber daß

Digitized by Google

eine gesunde Finanzierung möglich sein könnte. Soll die Einführung elektrischer Bahnen nicht durch die Anlage vollständig neuer Gleisstrecken Unsummen verschlingen, so müssen die Ansprüche den aufzuwendenden Kosten gemäß herabgesetzt werden und die heutigen Bahnprojekte begnügen sich daher mit 120 km Stundengeschwindigkeit, da bei solcher die leichten elektrischen Züge auch auf den heutigen Gleisanlagen, oder wenigstens auf den heutigen Strecken verkehren könnten.

Von A. Philippi und C. Griebel wurde ein in diesem Sinne gehaltener Entwurf im Jahre 1898 für die Umwandlung der Berlin-Hamburger Bahn ausgearbeitet (Berlin, A. Seydel 1901) und dem Minister für öffentliche Arbeiten überreicht.

Die Strecke Berlin-Hamburg würde sich für solche Versuche gut eignen, einmal, weil sie einen starken Verkehr aufweist, und dann, weil die Bahnlinie nicht erhebliche Steigungen (nur auf 150 m mehr als 1 : 200) und nicht starke Kurven zeigt. (kleinster Radius 950 m) Der Bahndamm soll nach Philippi und Griebel allerdings bis auf 16 m verbreitert werden, damit noch ein drittes Reservegleis angelegt werden kann, denn bei so erheblichen Zuggeschwindigkeiten würden Reparaturarbeiten an befahrenen Gleisen nicht mehr möglich sein. Die Schienenstränge sollen verdoppelt werden, sodaß jedes Rad mit einer Zentralflansche zwischen zwei Schienen eingeklemmt, ähnlich wie bei Zipernowsky, also eine bessere Führung des Rades erreicht wird. Obgleich die Kraftwerke den nötigen Energiebedarf aus dem Gefälle der Elbe entnehmen sollten, würden die Kosten der Anlage sich doch auf 140 Millionen belaufen. Um die für den Betrieb und die Kapitalsverzinsung nötigen Einnahmen einzubringen, berechnen die Verfasser den Personenverkehr auf jährlich $4^2/_3$ Millionen Fahrgäste. Was dies besagen will, wird am besten aus der Angabe erhellen, daß im Jahre 1897 die Berliner Stadtbahn etwa $56^1/_2$ Million Personen befördert hat. Es müßten also $^1/_{12}$ der Fahrgäste, welche jetzt die Stadtbahn benutzen, täglich nach Hamburg fahren, und das wird wohl kaum der Fall sein, selbst wenn die Züge sich in 6 Minuten Abstand folgen und die Fahrpreise auf 7,50 Mk. für die 1. und 5 Mk für die 2. Wagenklasse herabgesetzt werden.

Noch mehr nähert sich den gegenwärtig schon bestehenden Verhältnissen A. Petzenbürger mit seinem „fertigen Entwurf" einer elektrischen Schnellbahn Berlin-Hamburg. Er will durch Erreichung der Stundengeschwindigkeit von 120—130 km die Fahrzeit um 41 Proz. ermäßigen, d. h. von $4^1/_4$ auf $2^1/_2$ Stunden. Die von ihm veranschlagten Kapitalaufwendungen für die Einrichtung der Strecke zum elektrischen Betriebe belaufen sich auf nur 10 Mill., sind allerdings auch in verschiedenen Positionen ganz offenkundig zu niedrig angesetzt. In Anbetracht der bei elektrischer Traktion ermäßigten Betriebskosten ergiebt sich denn schließlich auch das

Digitized by Google

Resultat, daß trotz der größeren von der Bahnanlage zu rentierenden Zinsenlast sogar eine Steigerung der Reineinnahmen eintreten würde. Dieser „fertige Entwurf" wird aber wohl noch einer gründlichen Durchrechnung und Spezialisierung der einzelnen Posten bedürfen.

Die heute bereits existierenden normalspurigen Bahnen mit elektrischem Betriebe sind nicht durch ermäßigte Realisierung phantastischer Projekte, sondern im Gegenteil durch allmähliche Übertragung des Straßenbahnbetriebes auf den Fernverkehr entstanden. Wenn ihre Strecken bisweilen auch ganz respektable Längen aufweisen, so überschreiten ihre Fahrgeschwindigkeiten doch selten die der gewöhnlichen Personenzüge (36—40 km). Die Strecke Lecco-Sondrio-Chiavenna am Comosee hat die Länge von 110 km, die Strecke von Cannes nach Mentone gar von 155 km, die übrigen gehen kaum über 40—60 km Betriebslänge hinaus. Alle diese Bahnen können nicht als große Vollbahnen und noch weniger als Fernschnellbahnen, sondern nur als mehr oder weniger große Lokalbahnen bezeichnet werden, und so wertvoll für die Anlage von Fernschnellbahnen die beim Bau und Betriebe dieser kleineren Bahnen gesammelten Erfahrungen auch sind, darf man doch nie außer acht lassen, daß die Beförderung von Zügen mit 120 bis 200 km Stundengeschwindigkeit über Strecken von mehreren Hundert Kilometern noch ganz andere Anlagen und Betriebsmittel erfordert.

In der richtigen Erkenntnis, daß unsere heutigen Erfahrungen bei der Übertragung ins Große versagen und das Gelingen der Unternehmungen überhaupt in Frage stellen könnten, hat sich in Berlin die Studiengesellschaft für elektrische Fernschnellbahnen zumeist aus den dabei interessierten Fabriken gebildet und ein Kapital von $1\frac{1}{2}$ Million zur experimentellen Erforschung der einschlägigen Verhältnisse ausgeworfen. Die bisher dabei erzielten Resultate als die wahren Grundlagen aller Zukunftspläne werden uns nunmehr im Schlusse unserer Betrachtungen beschäftigen.

VII.

Die Wahl des elektrischen Stromsystems.

Bevor wir zur näheren Besprechung der elektrischen Versuchsbahnen übergehen können, wird es zweckmäßig sein, einige allgemeine die technische Ausführung elektrischer Fernschnellbahnen berührende Gesichtspunkte zu erörtern.

Die elektrische Energie kann entweder auf der Lokomotive selbst erzeugt werden, wie wir dies bei der Heilmann-Maschine kennen lernten, oder sie wird in stationären Anlagen entwickelt

Digitized by Google

und auf die Motorwagen übergeleitet. Im letzten Falle sind nun noch verschiedene Möglichkeiten vorhanden, deren Vorteile und Nachteile im Folgenden kurz hervorgehoben werden sollen.

Bei den Straßenbahnen finden wir oft das System der sogenannten Akkumulatorenwagen, die ihre Triebkraft aus einer Reihe von Akkumulatoren schöpfen. Diese werden am Tage einmal oder mehrere Male auf der Station „aufgeladen", d. h. es wird die elektrische Energie der stationären Dynamo-Anlage in ihnen aufgespeichert. Die Akkumulatoren nützen also die Vorteile der rationeller arbeitenden stationären Anlage aus und sind doch nicht durch ein Leitungsdraht-System von ihr abhängig, sowie ihre Aufladung beendet ist. Dies wäre eine ganz ideale Art der Zuführung elektrischer Energie auf die Motorwagen, wenn nicht die aus großen Bleiplatten bestehenden Akkumulatoren erstens sehr schwer und zweitens gegen Erschütterungen äußerst empfindlich wären. Sie werden aus diesen beiden Gründen für Fernschnellbahnen, wo es nicht auf die mögliche Verunzierung öffentlicher Promenaden durch Drahtleitungen oder die Belästigung physikalischer Institute ankommt, wohl nie ernstlich in Frage kommen, es sei denn, daß die große Erfindung des neuen Jahrhunderts — der leichte Akkumulator — gemacht wird.

Die Bahnlinie Paris—Lyon—Marseille hat übrigens den Versuch unternommen, eine Akkumulatoren-Lokomotive für Schnellzugsbeförderung einzustellen. Diese ist selbst mit 18 Zellen zu je 90 kg Gewicht ausgerüstet und schleppt auf einem besonderen Wagen noch zwei Batterieen zu je 96 Zellen mit. Das Gewicht der Lokomotive beträgt 44,5 t, des Accumulatorenwagens 45,8 t. Die entwickelte Kraftleistung wird zu 600 PS angegeben, wodurch ein Zug von 100 t Gewicht mit 100 km Stundengeschwindigkeit befördert werden konnte. Die Ladung der Batterieen reicht freilich bei der hierzu erforderten Stromentnahme von 500 Ampére noch nicht ganz zwei Stunden lang aus. Nach dieser Frist muß die Lokomotive wieder eine etwa gleiche Zeit lang aufgeladen werden, muß also mit dem Zuge solange auf der Station halten oder durch eine zweite abgelöst werden.

Viel rationeller in jeder Hinsicht ist es, die elektrische Energie dem fahrenden Zuge durch Drahtleitungen zuzuführen und hierbei handelt es sich dann um die weitere Frage, ob der Strom der Elektrizität als Gleichstrom, der stets in der nämlichen Richtung fließt, oder als Wechselstrom entwickelt werden soll, der bei etwa 100 maligen Wechsel in der Sekunde einmal sozusagen mit dem negativen, einmal mit dem positiven Pole voran in die Leitung geschickt wird. Eine Abart solcher Wechselströme ist der sogenannte Drehstrom, der sich vom eben beschriebenen 2-Phasen-Strome durch eine Dreiteilung der Phasenverschiebung an Stelle der Zweiteilung unterscheidet und eine zweckmäßigere Umsetzung

Digitized by Google

der elektrischen Energie in drehende Bewegung des Motors gestattet, als der gewöhnliche Zweiphasen-Wechselstrom.

Jede der beiden Stromarten hat ihre Vorteile und Nachteile. Der Hauptvorteil des Drehstromes ist seine leichte Transformierbarkeit auf hohe Spannungen und dadurch ist er bedeutend geeigneter zur Fortleitung auf weitere Entfernungen.

Die elektrische Energie besteht nämlich ganz analog der Energie eines Wasserfalles aus zwei Faktoren. Ein hoher Wasserfall mit kleiner Wassermenge kann dieselbe Arbeit leisten wie ein breiter Fluß mit geringem Gefälle. Ganz entsprechend kann dieselbe Menge elektrischer Energie, ausgedrückt in Volt-Ampère, geliefert werden durch Ströme von hoher Spannung (Volt) und geringer Stromstärke (Ampère) oder umgekehrt. Für die Fortleitung der Energie ist es aber durchaus nicht gleichgültig, wie ein Volt Ampère-Produkt zusammengesetzt ist, denn der Stromverlust durch Erwärmung des Leitungsdrahtes ist um so größer, je größer der Widerstand des Drahtes und je größer die Zahl der Ampère ist. Von der Volt-Zahl ist dieser Stromverlust unabhängig. Will man eine Energiemenge von 1000 Voltampère in einem Drahte fortleiten, so thut man darum besser 100 Volt und 10 Amp. zu wählen, als 10 Volt und 100 Amp., da im letzten Falle bei gleicher Drahtleitung der Leitungsverlust den hundertfachen Betrag erreichen würde.

Von W. Reichel ist eine Berechnung dieser Leitungsverhältnisse angestellt worden für eine Bahnlinie von 240 km Länge (Berlin-Hamburg) auf der eine Energiemenge von 900 000 Voltampère = 900 Kilowatt = 1220 Pferdekräften fortgeleitet werden soll.

1. Wird auf einer Station inmitten der Strecke ein entsprechender Strom mit 13 400 Volt Spannung entwickelt, so verliert derselbe auf 120 km Entfernung durch Fortleitung in einem Kupferdrahte von 100 qmm Querschnitt etwa 10 Proz. *) seiner Energie, kommt also an den Endstationen mit etwa 12 000 Volt an. Von der Drahtleitung müßte dann ein Strom von der Intensität 52 Amp. abgenommen werden, damit die verlangte Energiemenge von 900 Kilowatt in die Motoren übergeführt wird.

2. Wird aber ein Strom von nur 900 Volt in die Leitung geschickt, der mit 1000 Amp. Stärke entnommen werden muß, um die gleiche Zugkraft zu liefern, so beträgt die Einbuße an Energie trotz 10 mal so starker Drahtleitung auf die Entfernung

*) Nach Angabe des Chefingenieurs Tremontani beträgt auf der Strecke Mailand-Gallarate (41 km) der Spannungsabfall des 13 000 Volt hoch gespannten Stromes nur 1,8 Proz. bei Leitungsdrähten von 7,8 mm Durchmesser.

Digitized by Google

von 8 km schon 175 Volt oder nahezu 16 Proz. Es würde also nicht möglich sein, Ströme mit so niedriger Spannung auf die Länge von 120 km in rationeller Weise zu leiten und statt eines Kraftwerkes müßten mehrere auf die Strecke verteilt werden.

Es würde sich demnach stets empfehlen, die Energiemengen mit möglichst hoher Spannung in die Leitung zu schicken, wenn nicht andere Gesichtspunkte dem gewisse Grenzen setzten. Die Gleichstrommotore können heute so gebaut werden, daß sie Ströme von 1000 Volt Spannung zu verarbeiten vermögen, bei Drehstrommotoren liegt diese obere Grenze höher, etwa bei 4000 Volt. Für darüber hinausgespannte Ströme würde man aber die Wicklungen der Motoren nicht mehr genügend isolieren können, ohne die Leistungsfähigkeit erheblich zu beeinträchtigen. Wenn also Ströme von 10 000—20 000 Volt oder noch mehr in den Drahtzuleitungen laufen, so müssen diese erst von ihrer hohen Spannung auf eine niedere heruntertransformiert werden, wobei natürlich die Ampère-Zahl, die Intensität, entsprechend vermehrt wird. Im Unterschiede von der Energie eines Wasserfalles (Fallhöhe × Wassermenge) besitzt nämlich die elektrische Energie die Eigenschaft durch geeignete Vorrichtungen, Transformatoren, unter Beibehaltung des Gesamtwertes (Volt × Ampère) beliebig in ihrer Zusammensetzung (Volt und Ampère) verschoben werden zu können.

Soll nun ein Gleichstrom auf höhere oder niedere Spannung gebracht oder soll er in Wechselstrom umgeformt oder aus diesem transformiert werden, so gehört dazu ein rotierender Transformator, der sozusagen aus zwei auf dieselbe Axe gekuppelten Dynamos verschiedener Bauart besteht. Diese Maschine wird durch den ankommenden Strom getrieben und liefert 80—90 Proz. der Energie in anderer Zusammensetzungsweise des Volt-ampère-Produktes wieder ab. Natürlich muß eine laufende Maschine beaufsichtigt werden, beansprucht viel Platz, nützt sich leicht ab, kurzum verursacht Umstände und Kosten.

Der Wechselstrom aber wird in ruhenden Transformatoren umgewandelt. Jeder kleine Induktionsapparat, der aus zwei in einander gewickelten ungleich langen Drahtspulen besteht, ist ein Wechselstrom-Transformator und nach demselben Prinzip, wie die erwähnten Kinderspielzeuge, sind auch die Transformatoren für technische Stromleitungen gebaut. Die Abbildung*) stellt einen im Bau begriffenen Apparat für die Zwecke der Kraftübertragung beim Eisenbahnbetriebe dar. In Anbetracht der kolossalen Spannungen werden die Drahtspulen zur besseren Isolation ge-

*) Tafel 1 Fig. 13.

Digitized by Google

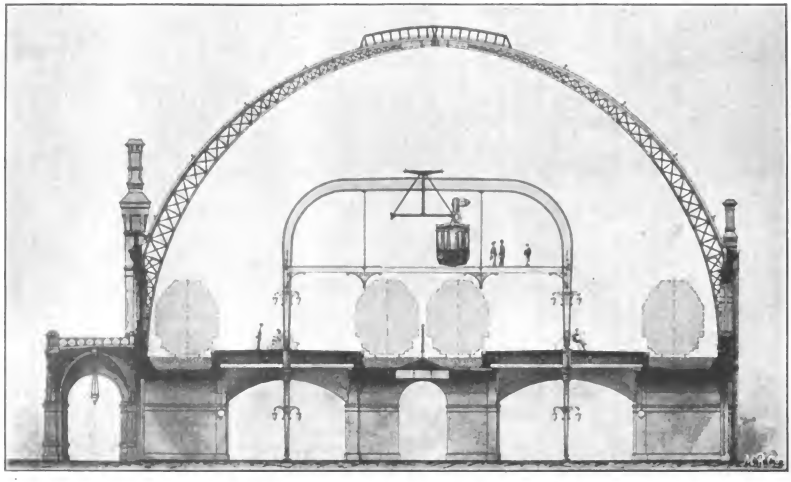


Fig. 9. Bahnhof der Berliner Stadtbahn mit Schwebebahnanlage über den Stadtbahngleisen. (Querschnitt).

Digitized by Google

wöhnlich in Petroleumbäder getaucht, dann aber wird das Instrument fest verschlossen und bedarf keinerlei Aufsicht oder Wartung mehr. Man kann solche Transformatoren an beliebigen Stellen der Bahnlinie aufstellen oder auf den Motorwagen selbst unterbringen, wie dies bei den modernsten Typen elektrischer Fernschnellbahn-Lokomotiven geschieht.

Ohne Zaubern würde man sich deshalb allgemein gegen den Gleichstrombetrieb entschließen, wenn nicht andere Vorteile die Schwierigkeit seiner Transformierung aufwiegen würden. Der Gleichstrommotor mit Hauptstromschaltung arbeitet mit einem von der Anzahl seiner Umdrehungen nahezu unabhängigen Wirkungsgrade, d. h. bei jeder Geschwindigkeit der Fahrt gestattet er eine gleichmäßig rationelle Ausnutzung der aufgewendeten Energie. Fährt der Zug eine Steigung hinauf, so kann die Steigungsarbeit durch Verminderung der Schnelligkeit gewonnen werden, ebenso der Mehrbedarf an Arbeitsleistung beim Anfahren. Auf ebener Strecke ist ferner durch Einschaltung von mehr oder weniger Widerstand jede beliebige Zuggeschwindigkeit unterhalb und oberhalb der vorgeschriebenen Arbeitsleistung zu erreichen.

Der Gleichstrom-Motor eignet sich dieser Vorzüge wegen besonders zum Straßenbahnbetriebe, wo häufig kurze Steigungen zu überwinden sind, wo häufig angehalten wird und wo eine sehr exakte Geschwindigkeitsregulierung erforderlich ist. Auch für größere Bahnen bleiben diese Vorzüge noch ausschlaggebend bis bei der Streckenlänge von 20—30 km je nach der Inanspruchnahme die Nachteile des Stromverlustes in der Leitung überwiegen.

Die Zuleitung des Stromes kann bei Gleichstrom durch eine Oberleitung oder durch eine sog. dritte Schiene erfolgen, die Rückleitung in jedem Falle durch die Laufschienen. So ist z. B. bei der Wannseebahn eine dritte Schiene zwischen den Laufschienen in etwa 30 cm Höhe verlegt, natürlich mit guter Isolierung gegen die Erde, von der besondere Kontakträder den Strom abnehmen. Durch dieses Zuführungssystem werden die Drahtoberleitungen mit allen ihren Nachteilen vermieden, doch kann infolge der schwierig zu erreichenden Isolation die Spannung in der dritten Schiene nicht über 1000 Volt gesteigert werden.

Wesentlich anders liegen die Verhältnisse bei den Drehstrommotoren, denn diese sind in ihrer Leistungsfähigkeit sehr stark abhängig von der Umlaufsgeschwindigkeit, indem sie nur bei Innehaltung einer ganz bestimmten Tourenzahl die volle Ausnutzung der zugeführten Energie gestatten, bei der geringsten Abweichung davon aber nur die halbe Zugkraft oder noch weniger zu entwickeln vermögen. Diese Verhältnisse können am einfachsten wohl in der folgenden freilich nicht in allem ganz streng zutreffenden Weise erklärt werden.

Digitized by Google

Denken wir uns einen drehbaren Ring, auf dessen Rande abwechselnd magnetische Südpole und Nordpole angeordnet sind. Dieser Ring rotiert in einem zweiten feststehenden, der ihn eng umschließt und ebenfalls mit Eisenpolen besetzt ist, die denen des inneren Ringes — des Läufers — grade gegenüber stehen. Die Pole des äußeren Ringes sollen aber nicht wie diejenigen des Läufers konstanten Magnetismus besitzen, sondern von einer Drahtwindung so umflossen werden, daß in einem um den andern Nord- und Südmagnetismus induziert wird. Wählen wir die Richtung des induzierenden Stromes zuerst so, daß den Südpolen des Ankers auch Südpole im äußeren Ringe gegenübergestellt werden, und ebenso den Nordpolen Nordpole, so stoßen sämtliche Paare sich ab und die inneren Nordpole werden vor die äußeren Südpole gerückt. Wenn wir nun die Richtung des magnetisierenden Stromes wechseln, so werden die grade vor den Südpolen angelangten Nordpole durch die nunmehr in Nordpole umgewandelten entsprechenden äußeren Pole von neuem abgestoßen. Auf diese Weise kommt der innere Ring in fortgesetzte Drehung. Wenn wir aber die Drehungsgeschwindigkeit desselben durch eine Bremsvorrichtung auf die Hälfte des Betrages herabsetzen, so langt der von einem äußeren Südpole abgestoßene innere Südpol vor dem nächsten Pole nicht an, wenn derselbe gerade Südpol geworden ist, sondern später, wenn dieser Pol schon wieder Nordpol ist und durch Anziehung des inneren Südpoles die Drehung des Ringes aufhält. Der Ring würde dann bald zum Stillstand kommen. Es ist nun leicht ersichtlich, daß, wenn die Geschwindigkeit des inneren Ringes nicht bis auf die Hälfte, sondern um einen geringeren Betrag herabgesetzt wird, eine Drehung desselben durch die wechselnde Magnetisierung zwar erfolgen wird, daß aber die drehende Kraft nicht so gut ausgenutzt wird als wenn der innere Ring grade mit der zuerst beschriebenen Normalgeschwindigkeit umläuft, die von der Wechselzahl des induzierenden Stromes und von der Bauart des Ringsystems abhängt. Nicht ganz genau so, aber doch sehr ähnlich liegen die Verhältnisse auch bei den Drehstrommotoren und nur bei genau zutreffender Tourenzahl läuft derselbe mit voller Kraftentfaltung.

Fährt daher der Zug eine Anhöhe hinauf, so darf die Geschwindigkeit dabei nicht verringert werden, denn sonst würde auch die Zugkraft der Maschine abnehmen. Diese muß daher so berechnet werden, daß die stärksten Steigungen mit der normalen Geschwindigkeit befahren werden können. Auf horizontaler Strecke fährt jedoch der Zug deshalb keineswegs schneller, denn schneller als die Wechselzahl es bedingt, kann der Motor keinesfalls umlaufen. Die nicht in Anspruch genommene Energie geht mithin nutzlos verloren. Daß die Züge durch diese Eigentümlichkeit der Drehstrommotoren an eine unter allen Umständen gleichbleibende

Digitized by Google

Normalgeschwindigkeit gebunden sind, scheint ja ein großer Vorteil für die Innehaltung des Fahrplanes zu sein, indessen ist auch zu berücksichtigen, daß andrerseits Zeitverluste in keinem Falle durch schnellere Fahrt wieder eingebracht werden könnten.

Eine gewisse Geschwindigkeitsregulierung ist freilich möglich, wenn zwei oder mehr Drehstrommotoren eingeschaltet sind. Durch die sog. Tandemschaltung kann die Tourenzahl auf die Hälfte herabgesetzt werden u. s. w. Die ganz allmähliche Verschiebung der Geschwindigkeit aber und die stets rationelle Ausnutzung der Zugkraft sind niemals mit Drehstrommotoren in demselben Maße wie bei Gleichstrommotoren zu erreichen.

Sind ferner Drehstrommotoren auf jeder der beiden Achsen eines Drehgestelles angebracht, so müssen die Räder der Achsen einander ziemlich genau gleich sein. Die Abweichung darf nicht mehr als $^1/_4$—$^1/_2$ Proz. des Durchmessers betragen, sonst laufen die Motoren mit verschiedener Tourenzahl und immer nur der eine kann seine volle Zugkraft entwickeln.

Auch bezüglich der Zuführung des elektrischen Stromes zu den Motorwagen liegen die Verhältnisse beim Drehstrom ungünstiger als beim Gleichstrom. Hier sind nicht weniger als drei von einander isolierte Leitungen erforderlich und da von der Erdrückleitung und von der dritten Schiene bei den hohen Spannungen aus verschiedenen Gründen abgesehen werden muß, bleibt nichts übrig als drei Oberleitungsdrähte zur Speisung des fahrenden Motors zu benutzen. Dies System ist der Gefahr eines Drahtbruches mehr ausgesetzt, als das Gleichstromsystem mit dritter Schiene und außerdem wird die Anlage von Weichen nur schwer möglich. Es bleibt nichts übrig, als da, wo eine Gabelung des Gleises abgezweigt wird, die Leitungen auf eine kurze Strecke einfach zu unterbrechen (sog. Luftweiche) und den Zug hier ohne Stromzufuhr einfach der Fortbewegung durch seine lebendige Kraft zu überlassen. Daß eine Bahnhofsanlage unter solchen Umständen fast zur Unmöglichkeit wird, bedarf wohl keiner besonderen Betonung. Es würde nur der Ausweg bleiben, die Fernzüge durch vorgespannte Akkumulatoren-Lokomotiven durch die Bahnhöfe hindurchzuschleppen.

Die Drehstrommotoren sind zwar einfacher konstruiert als entsprechende Gleichstrommotoren, dafür ist ihr Gewicht aber um ein Beträchtliches größer. Außerdem sind die Drehstrommotoren auch empfindlichere Apparate, indem der Abstand zwischen dem rotierenden Anker und dem umgebenden Magnetringe bei ihnen nur 1—1,5 mm, bei den Gleichstrommotoren dagegen 2—3 mm betragen darf. Ein geringes Auslaufen der Axen und dadurch bedingtes Schleudern des Ankers kann also den Drehstrommotor bereits dienstuntauglich machen, während es den Gleichstrommotor noch nicht wesentlich beim Umlaufen behindert. Es wird daher

Digitized by Google

dringend erforderlich, die auf den Axen der Motorwagen montierten Drehstrommotoren sorgfältiger mittels federnder Aufhängung gegen die Abnutzung durch die Erschütterung an den Schienenstößen zu schützen als die andern. Die Abbildung auf Seite 36 stellt die Anbringung des Ankers auf der Achse durch federnde Kuppelung mit Gleitstücken dar.

Es kann unter Umständen zweckmäßig sein, die Motoren nicht direkt auf den Axen zu montieren, sondern die letzteren mit dem Anker des Motors mittels Zahnradvorgelege zu verbinden. Die geeigneteste Umfangsgeschwindigkeit für den Anker der Motoren beträgt nach den neueren Versuchen etwa 20—25 m.

Da nun der Durchmesser des auf derselben Achse sitzenden Rades aus konstruktiven Rücksichten etwa im Verhältnis 5 : 3 größer sein muß, würde dasselbe bei der gleichen Umdrehungszahl auch eine entsprechend größere peripherische Geschwindigkeit, also etwa 40 m besitzen. Dies käme aber schon einer Fortbewegung auf den Schienen von über 120 km in der Stunde gleich und erst hier würden die Motore demnach rationell arbeiten. Durch Zahnradgetriebe wird dies Übersetzungsverhältnis verkleinert, durch Anbringung mehrerer, während der Fahrt auswechselbarer Getriebe wird auch die Geschwindigkeit reguliert werden können. Zudem erreicht man die Möglichkeit, die Motorenaufhängung besser abfedern zu können. Bedenklich ist es freilich, daß die ganze Anordnung dann länger wird und der Radstand der Drehgestelle auf diese Weise zunimmt, was für das Befahren der Kurven ungünstig ist.

Fassen wir unsere Resultate nochmals kurz zusammen, so haben wir also das Ergebnis, daß die Gleichstrommotoren den Drehstrommotoren in verschiedenen wesentlichen Punkten erheblich überlegen sind. Ein Nachteil ist jedoch, daß sie höhere Spannungen als 1000 Volt nicht vertragen und daß es sehr umständlich ist, einen höher gespannten Drehstrom oder Gleichstrom in einen niederen Gleichstrom herunter zu transformieren. Für die Fortleitung der Energie auf weitere Strecken ist indessen, wie wir oben sehen, die Verwendung der Spannungen von 10 000 Volt aufwärts dringend geboten und aus diesem Grunde ist die Eigenschaft der leichten Transformierbarkeit bei den Drehströmen geeignet, die Nachteile der Drehstrommotoren vergessen zu machen.

Je nachdem man den erörterten Rücksichten nun Gewicht beilegen will, wird man eins von den folgenden Betriebssystemen wählen:

1. Gleichstrommotoren, betrieben mit Spannungen bis zu 1000 Volt. Der Strom wird als Gleichstrom mit dieser Spannung von der Kraftstation in die Leitung geschickt. Keinerlei Transformation. Für Bahnen bis höchstens 30 km geeignet. (Wannseebahn 12 km, 750 Volt.)

Digitized by Google

2. Gleichstrommotoren, betrieben mit Spannungen bis zu 1000 Volt. Der Strom wird als Drehstrom mit Spannungen von mehr als 10 000 Volt von der Kraftstation geliefert und rotierenden Transformatoren in den etwa 5 km von einander entfernten Unterstationen zugeführt, woselbst die Transformation in Gleichstrom von 1000 Volt erfolgt. Dieser wird von den fahrenden Motoren aus zweiter Leitung abgenommen. (Vollbahn Albany-Hudson N.-Y. 60 km. 12 000 Volt Drehstrom, 600 Volt Gleichstrom. Vollbahn Mailand-Gallarate 40 km 13 000 Volt Drehstrom, 650 Volt Gleichstrom.)

3. Drehstrommotoren, betrieben mit Spannungen bis 4000 Volt. Der Strom wird als Drehstrom von höherer Spannung erzeugt und längs der Strecke verteilten ruhenden Transformatoren zugeführt, wo er auf die Betriebsspannung von weniger als 4000 Volt heruntertransformiert wird. Dieser wird von den fahrenden Motoren aus einer zweiten Leitung abgenommen. (Burgdorf-Thun 41 km. 13000 Volt Primärstrom, 750 Volt Sekundärstrom.)

4. Drehstrommotoren, betrieben mit Spannungen bis 4000 Volt. Der Strom wird als Drehstrom von 10 000—20 000 Volt in die Leitung geschickt und von den Motorwagen mit dieser Spannung abgenommen. Auf den Motorwagen wird er durch ruhende Transformatoren auf die Betriebsspannung herabgesetzt. (Siemens & Halske Versuchsbahn, Lichterfelde. Versuchsbahn der Studiengesellschaft Berlin-Zossen.)

VIII.

Die Berliner Versuchsbahnen.

a) Die Wannseebahn.

Unter die Versuche, welche besonders von der Firma Siemens & Halske in Berlin zum Studium der elektrischen Fernschnellbahnen unternommen sind, ist der am 1. August 1900 eröffnete elektrische Betrieb der Wannseebahn nicht eigentlich zu zählen, da er durchaus das Gepräge einer normalspurigen Kleinbahn trägt. Solche sind, wie wir sehen, in Italien und in der Schweiz, wo die Kohlen teuer und die Wasserkräfte billig sind, bereits in größerer Zahl installiert worden, zum Teil sogar in größerem Maßstabe als die Wannseebahn.

Wir wollen aber trotzdem einige Angaben über die letztere nicht unterlassen, da es lehrreich scheint, gerade an diesem Beispiel den Unterschied zwischen einer normalspurigen Hauptbahn mit elektrischem Betrieb im Allgemeinen und einer elektrischen Fernschnellbahn hervortreten zu lassen.

Digitized by Google

Die Wannseebahn besitzt eine Betriebslänge von nur 12 km und darum ist es möglich, dieselbe mit niedrig gespanntem Gleichstrom (750 Volt) zu betreiben und durch nur eine Kraftstation (in Steglitz) mit elektrischer Energie zu versorgen, ohne daß die Leitungsverluste allzu hohe werden. Die Zuführung des Stromes zu den Motorwagen geschieht durch eine dritte Schiene, die zwischen den beiden Laufschienen in etwa 30 cm Höhe über der Schienenoberkante durch Sattelhölzer auf den Querschwellen befestigt, gut von der Erde isoliert und durch seitliche Bretterverschläge gegen zufällige Berührung gesichert ist. Die Rückleitung des Stromes geht durch beide Laufschienen.

Die Züge, deren drei an jedem Vormittage in jeder Richtung mit elektrischem Kraftbetriebe laufen, bestehen aus je 10 gewöhnlichen dreiachsigen Personenwagen von durchschnittlich 21 t Gewicht. Die beiden Endwagen sind als Motorwagen umgebaut, die Führerstände befinden sich in den ersten Coupés dieser beiden Wagen, die andern Coupés derselben dienen wie gewöhnlich zur Aufnahme von Fahrgästen.

Auf den sechs Achsen der beiden Motorwagen sind sechs Gleichstrommotoren mit Hauptschluß montiert und zwar ohne nennenswerte Federung direkt auf den Achsen. Die Leistung jedes Motors beträgt etwa 150 Pferdestärken, sodaß im Ganzen 900 PS. = 660 Kilowatt im Maximum — beim Anfahren — entwickelt werden können. Bei 750 Volt Spannung entspricht dies einer Stromentnahme von etwa 900 Ampère. Während der freien Fahrt beläuft die letztere sich indessen nur auf durchschnittlich 450 Ampère.

b) Die Versuchsbahn von Siemens & Halske auf der Teltower Chaussee.

Den räumlichen Dimensionen nach viel kleiner, den Fernschnellbahnen aber viel ähnlicher ist eine Bahnstrecke, die von Siemens & Halske auf der Teltower Chaussee bei Lichterfelde und Zehlendorf in einer Länge von 1,8 km eingerichtet und zu Versuchsfahrten benutzt wurde.

Die im August 1892 bereits angestellten Vorversuche hatten auf einer 360 m langen Strecke im Hofe des Wernerwerkes in Charlottenburg durchaus günstige Resultate ergeben und so schritt die Firma im Jahre 1899 dazu, nur zu Versuchszwecken die obenerwähnte Strecke anzulegen.

Die elektrische Kraft wurde geliefert durch eine etwa in der Mitte der Linie aufgestellte Drehstromdynamomaschine, die je nach der Schaltung Ströme von 400—4000 Volt Spannung abgab. Durch Transformierung konnte die Spannung bis auf 10000 Volt erhöht werden. Die Zuführung des Stromes geschah durch drei übereinander angeordnete Oberleitungsdrähte, an denen der Motor-

Digitized by Google

wagen mit drei Seitenschleifkontakten anlag. (vgl. Tafel I Fig. 12). Diese Einrichtung der Kontakte bewährte sich bis zu Spannungen von 10000 Volt und mehr ausgezeichnet, es stellte sich sogar heraus, daß auch bei schnellster Fahrt (60 km die Stunde) leichter ein Strom von 10000 Volt und 10 Ampère, als ein solcher von 100 Volt und 1000 Amp. abzunehmen ist.

Die zu den Versuchen benutzte Lokomotive (s. Tafel I Fig. 12) war aus einem gewöhnlichen zweiachsigen Plattform-Güterwagen durch Aufsetzen eines eisernen Kastens und Montierung zweier Drehstrommotore auf den Achsen hergestellt. Der Kasten und alle Eisenteile waren zwar mit der Erde gut leitend verbunden. Um aber im Falle mangelhafter Isolation jede Gefahr für die Bedienungsmannschaft auszuschließen, war der erste Tritt durch Porzellangriffe vollständig sowohl von dem Wagen wie von der Erde isoliert. Der Körper des Menschen konnte also niemals zu seinem Schaden eine leitende Verbindung zwischen dem Wagen und der Erde bilden, da er beide nicht zugleich berührte.

Die Transformierung des hochgespannten Stromes in den Betriebsstrom der Motoren (650—850 Volt später 2000 Volt) geschah durch Transformatoren, welche in den vorn und hinten herausstehenden Kasten der Lokomotive sich befanden.

Die Motoren waren nicht fest auf den Achsen angebracht, sondern durch zwei auswechselbare Zahnradvorgelege mit denselben verbunden. Die Übersetzung betrug 1 : 4,65 und 1 : 3,15, sodaß dem Wagen Geschwindigkeiten von 40 resp. 60 km in der Stunde bei gleichbleibender Umdrehungszahl des Motors erteilt werden konnten.

Die Leistungen der Maschine waren durchaus befriedigende. Sie erreichte trotz ihrer geringen Zugkraft (30 PS. normal 120 PS. maximal) mit einem Zuge von 30 t Last bequem Geschwindigkeiten von 60 km. Der Stromverbrauch betrug dann 70 Amp. bei 700 Volt Spannung.

c) Die Versuche der Studiengesellschaft für elektrische Fernschnellbahnen.

Die bereits früher (S. 47) erwähnte Studiengesellschaft erhielt von der Verwaltung der Militärbahn die Erlaubnis, die derselben gehörige Strecke Marienfelde—Zossen zu Probefahrten mit elektrischen Fernschnellbahnen zu benutzen und dementsprechend mit Leitungsanlagen zu versehen. Die Strecke besitzt eine Länge von 23 km, weist Steigungen bis 1 : 184 auf und hat dabei nur Krümmungen, deren Radius mehr als 1000 m beträgt, ist also zu Schnellfahrten durchaus geeignet. Die Konstruktion der als Fahrzeuge zunächst in Aussicht genommenen Einzel-Motorwagen wurde der Firma Siemens & Halske sowie der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin übertragen. Die dabei vorgeschriebenen Be-

Digitized by Google

dingungen sind im Wesentlichen die folgenden: Die Wagen sollen 50 Personen aufnehmen können und Fahrgeschwindigkeiten von 200—220 km in der Stunde erreichen. Die bei freier Fahrt aufzuwendende Kraftleistung wurde auf 1000 PS. angegeben, die beim Anfahren zu leistende auf das Dreifache. Die Spannung des von der Zuleitung abzunehmenden Drehstroms wurde auf 10000 Volt festgestellt.

Der von Siemens & Halske ausgeführte Wagen ist in der Abbildung (S. 11) dargestellt. Er besitzt eine Länge von 23 m und ruht mit doppelter Federung auf zwei dreiachsigen Drehgestellen, deren Laufräder 125 cm Durchmesser haben. Das Gewicht des Wagens beträgt (bei Belastung mit 50 Personen) ca. 90 t, die sich etwa folgendermaßen verteilen:

Drehgestelle mit Rädern u. s. w.	27,3 t.
Wagenkasten	20,7 t.
Motoren mit Aufhängung	16,3 t.
Widerstände	5,1 t.
Einrichtung des Führerstandes	4,8 t.
Transformatoren	12,3 t.
Stromabnehmer	1,3 t.
50 Personen	4,0 t.

Auf den beiden äußeren Achsen jedes Drehgestelles sind Drehstrommotoren montiert — im Ganzen also vier — und zwar sind dieselben direkt auf den Achsen mit genügender Federung angebracht. Die Übersetzung des Antriebes auf die Wagenachsen durch Zahnradgetriebe empfahl sich hier nicht, einmal weil die vorgeschriebenen Geschwindigkeiten der Laufräder derjenigen der Motoren nahezu entsprach und dann, weil hierdurch die Drehgestelle zu lang geworden wären. Die von außen zugeführte Spannung von 10000 Volt wird in den unter dem Fußboden des Wagens angebrachten Transformatoren bis auf die Betriebsspannungen von 1150 Volt bei freier Fahrt, 1850 Volt beim Anfahren herabgesetzt. Die Leistung eines jeden Motors beträgt beim Anfahren 750 PS und wird durch Einschaltung von Widerständen für die freie Fahrt bis auf 250 PS. herabgesetzt. Diese Widerstände bestehen aus Systemen von Kruppin-Blechbändern (2><45 mm Querschnitt) die serienweise an den Seiten des Wagens unter den Fenstern aufgehängt sind. Nach außen sind sie durch jalousieartig geschlitzte Bleche verdeckt, damit der Luftzug beim Fahren die nötige Abkühlung bewirken kann. Die Einschaltung dieser Widerstände geschieht vom Führerstande aus mittels pneumatischer Kraftübertragung. Die erforderliche Druckluft wird durch Luftpumpen geliefert, die ein eigener kleiner Elektromotor antreibt.

Die drei Zuleitungsdrähte bestehen aus Hartkupferdraht von 100 qmm Querschnitt und sind an Holzmasten in je 1 m Ab-

Digitized by Google

stand senkrecht übereinander angebracht. Jeder dieser Masten trägt einen eisernen Ausleger (s. Abb. S. 28.) dessen Bogen durch ein von ihm mittels Hartgummischnallenisolatoren isoliertes Drahtstück überspannt wird. An diesem sind gleichfalls isolierte Hartgummiglocken für die Befestigung der Fahrdrähte angebracht. Dies System besitzt vor der direkten Anbringung der Isolatoren am Maste den Vorzug, daß die Drähte dem Drucke des Stromabnehmerbügels seitlich federnd ausweichen können. Um den Aufhängedraht herum läuft neben jedem der drei Isolatoren eine Schlinge aus 8 mm Kupferdraht. Sowie der Fahrdraht auf einer Strecke reißt, läßt der Zug am Isolator nach und diese Schlinge dreht sich nach aufwärts so, daß sie den hinter dem Aufhängedraht befindlichen mit der Erde verbundenen Ableitungsdraht berührt. Es wird dadurch der Isolator an die Erde geschlossen und das herabhängende Drahtende wird nahezu stromfrei. Behufs seitlicher Verankerung der Leitungsdrähte sind in der Entfernung von 1 km besondere Versteifungsmasten aufgestellt. (Abb. S. 29)

Der Strom wird von den Fahrdrähten durch seitlich ausliegende Bügel abgenommen. Die Anordnung derselben ist aus den Abbildungen S. 11 und Tafel I Fig. 12 ersichtlich. Da der Draht auf die 35 m betragende Entfernung zwischen zwei Masten etwa 15 cm durchhängt, so berührt nicht immer dieselbe Stelle des Bügels den Draht, sondern letzterer gleitet bei der Fortbewegung des Wagens am Bügel herauf und herunter. Dieser Umstand macht es möglich bei so kolossalen Geschwindigkeiten noch Strom abzunehmen, ohne daß durch die Reibungshitze der Bügel durchschmilzt, wie dies der Fall sein würde, wenn der Draht stets an der gleichen Stelle des Bügels schleifte.

Der zweite, von der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft ausgeführte Wagen unterscheidet sich von dem soeben beschriebenen in einigen wesentlichen Punkten. Hervorgehoben werden soll nur, daß die Widerstände hier nicht aus Metallblechen bestehen, sondern sogenannte Flüssigkeitswiderstände sind. In Gefäße mit Sodalösung tauchen zu je zwei sich gegenüberstehende Metallplattenpaare ein. Der Strom geht von Platte zu Platte durch die Lösung hindurch und erwärmt dieselbe dabei. Damit die Erwärmung aber nicht zu weit geht, läuft die Lösung ständig aus den Gefäßen unten ab und wird durch eine kleine Pumpe oben wieder nachgefüllt. Werden nun die Abflußöffnungen soweit geöffnet, daß die Flüssigkeitszufuhr nicht mehr hinreicht den Abfluß zu ersetzen, so sinkt das Niveau der Lösung, die Platten tauchen nicht mehr gänzlich ein und der Durchgang des Stromes durch den verminderten Flüssigkeitsquerschnitt wird erschwert, mit anderen Worten, es wird Widerstand ganz allmählich eingeschaltet, wie dies nötig ist beim Übergang von der Anfahrleistung zur gewöhnlichen Fahrleistung.

Digitized by Google

Die Motoren sind ebenfalls etwas abweichend von denen des Siemens & Halske-Wagens konstruiert, sowohl was ihre Lagerung auf der Achse als auch ihre Spannungsverhältnisse anlangt. Der zugeführte Strom von 10000 Volt wird hier bis auf 435 Volt heruntertransformiert und mit dieser wesentlich niedrigeren Spannung als im andern Falle (1150 bis 1850 Volt) den Motoren zugeführt.

Die Leistungen der beiden Wagen haben bei den bisherigen Probefahrten den gestellten Anforderungen bis zu Geschwindigkeiten von 160 km in der Stunde durchaus entsprochen. Größere Schnelligkeiten konnten noch nicht erreicht werden, da der Unterbau der Militärbahn sich als unzureichend für solche Inanspruchnahme erwies.

Wenn also die eigentliche Leistung von 200 km in der Stunde auch noch nicht erreicht ist, so haben in jedem Falle diese Probefahrten doch schon den Nutzen gebracht, daß wertvolle Erfahrungen für den Bau von elektrischen Fernschnellbahnwagen systematisch gesammelt werden konnten. Die Studiengesellschaft wird in ihren dankenswerten Bestrebungen fortfahren und erst wenn ihre Resultate zu einem einigermaßen befriedigenden Abschluß gelangt sind, wird man an der Hand vielleicht ganz neuer Gesichtspunkte das schon so oft hypothetisch diskutierte und berechnete Unternehmen einer Schnellbahnverbindung Berlin—Hamburg ins Auge fassen können. Jetzt schon „fertige Projekte" in die Welt zu setzen, zeugt von einer ganz bedenklichen Unterschätzung der Schwierigkeiten.

IX.

Die Einschienenbahnen für Schnellverkehr.

Wie in den vorhergehenden Abschnitten mehrfach hervorgehoben wurde, liegt die hauptsächliche Schwierigkeit, die sich dem Bau von praktisch brauchbaren Fernschnellbahnen heute noch entgegenstellt, nicht in der Unmöglichkeit, entsprechende Eisenbahnzüge oder Traktionskräfte zu konstruieren, sondern in der Unzulänglichkeit der Gleisstrecken.

Die für so hohe Ansprüche nicht genügende Festigkeit des heutigen Oberbaues und die unzureichende Stabilität des Unterbaues könnten bei Aufwendung entsprechender Kosten vielleicht auch für den Fernschnellverkehr geeignet verbessert werden. Die starke Krümmung der heutigen Bahnstrecken würde aber, wenn dieselben mit Geschwindigkeiten von 150—200 km in der Stunde befahren werden sollen, eine solche Überhöhung des äußeren Geleises nötig machen, daß langsamer verkehrende Züge großen Gefahren aus-

Digitized by Google

gesetzt wären. Es würde aus diesem Grunde also eine Trennung des Fernschnellverkehrs von dem Lokalverkehr und dem Güterverkehr unumgänglich notwendig werden. Auch rein verkehrstechnische Gesichtspunkte würden übrigens diese Maßnahme dringend erfordern. Es ist ja bekannt, daß die langsamer verkehrenden Personen- und Güterzüge häufig die Linie für einen nachfolgenden Schnellzug freimachen und zu diesem Zwecke auf ein Nebengleis umgesetzt werden müssen. So lange die Schnellzüge nicht allzu häufig verkehren, ist dieser Verschub schon lästig und zeitraubend, sobald aber der Abstand einzelner Schnellbahnwagen auf 10 Minuten herabgesetzt würde, dürften die Güterzüge aus den Nebengleisen überhaupt garnicht mehr herauskommen. Daß natürlich Kosten durch dieses Beiseiteschieben der Züge entstehen, bedarf keiner besonderen Erwähnung, daß dieselben auf einer einzigen Bahnstrecke, auf der englischen Midland-Bahn, im Jahre aber nahezu den Betrag von 10 Millionen Mark erreichen sollen, dürfte doch überraschen. An eine den elementarsten Ansprüchen der Verkehrssicherheit entsprechende Zugdeckung wäre natürlich garnicht zu denken.

Sollen also Schnellbahnen angelegt werden, so ist mindestens durch Verbreiterung der Bahndämme Raum für besondere Fernschnellverkehrsgleise zu schaffen, höchst wahrscheinlich würde sogar eine ganz neue Linienführung der Bahnstrecken mit neuen Stationen zur Vermeidung der Kurven erforderlich sein. Die Kosten der neuen Bahnanlage würden deshalb die durchschnittlichen Anlagekosten der jetzigen Bahnen (pro Kilometer ca. 250000 Mark in Deutschland, 630000 Mk. in England) ganz sicher überschreiten.

Eine Vermeidung, wenn auch nicht aller, so doch eines Teiles der erwähnten Übelstände bezwecken die Projekte, die Fernschnellbahnen als Einschienenbahnen zu konstruieren. Der von uns früher hervorgehobene Grundsatz, daß die Schnellbahnen sich den bereits existierenden Bahnen in der Art der Schienenkonstruktion, dem Wagenprofil, der Kuppelung u. s. w. vollständig anpassen sollen, damit ein Durchgangsverkehr von den einen zu den andern möglich bleibt, würde freilich verletzt werden. Man müßte dann eben von zwei Übeln das kleinere wählen.

Besonders von dem englischen Ingenieur F. B. Behr ist mit großer Ausdauer daran gearbeitet worden, die als kleinere Feldbahnen schon lange mit Erfolg gebrauchten Monorailbahnen zu Vollbahnen mit elektrischem Betriebe und hohen Geschwindigkeitsleistungen auszugestalten. Die von dem Franzosen Charles Lartigue in den Jahren 1883 und 1884 erbauten Einschienenbahnen gehen über die Dimensionen kleiner Drahtseilbahnen kaum hinaus. Behr erkannte die großen Vorzüge des dem System zu Grunde liegenden Gedankens und baute im Jahre 1886 eine Industrie-

Digitized by Google

bahn in Westminster, im Jahre 1888 eine solche in Irland, letztere bereits in der Ausdehnung von 16 km Betriebslänge.

An Stelle der auf dem Bahnniveau liegenden beiden Schienen gewöhnlicher Bahnen besitzt die Einschienenbahn nur einen auf gußeisernen Böcken etwa 4 Fuß über dem Boden montierten Schienenstrang, auf dem die Wagen sozusagen reiten, wie die Fig. 10 veranschaulicht. Ein solcher Bahnwagen wird beim Befahren von Kurven natürlich auch eine Schräglage annehmen, aber der Schienenstrang braucht sich dieser Neigung des Wagenquerschnittes nicht anzupassen und die Strecke kann von verschieden schnell fahrenden Zügen mit gleicher Sicherheit passiert werden. Entgleisungen sind natürlich vollkommen ausgeschlossen, selbst bei Radreifen- oder Achsenbrüchen. Diese Eigentümlichkeiten des Systems gestatten es nach den von Behr

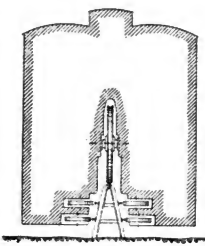


Fig. 10. Einschienenbahn (Monorail) von E. B. Behr. (Querschnitt)

angestellten Versuchen noch, Kurven von 500 m Radius mit 135 km Stunde Geschwindigkeit zu befahren, während bei gewöhnlichen Zweischienenbahnen bereits ein Radius von 900 m das Minimum für 90 km Geschwindigkeit bildet.

Nachdem im Jahre 1897 bei Gelegenheit der Weltausstellung in Brüssel eine Versuchsbahn von 5 km Länge befriedigende Resultate ergeben oder doch wenigstens hatte erkennen lassen, daß unter günstigern Umständen dem Betriebe mit Geschwindigkeiten von 175 km Stunde keine wesentlichen Schwierigkeiten entgegenstehen würden, unternahm es Behr die beiden Städte Manchester und Liverpool durch eine Schnellbahn nach dem Monorail-System zu verbinden. Die 55 km lange Strecke hat ihre Kopfstationen mitten in den Verkehrszentren der beiden Städte und soll in Abständen von je 10 Minuten mit Einzel-

Digitized by Google

wagen für 40—70 Personen befahren werden. Die Triebkraft ist natürlich elektrisch, und zwar werden von einer in der Mitte der Strecke angelegten Zentrale 5 Unterstationen mit Drehstrom von 15 000 Volt Spannung versehen. Letzterer wird auf den Unterstationen in Gleichstrom von 650 Volt Spannung umgewandelt und als solcher den Motorwagen zugeführt.

Als Anlagekapital des Unternehmens wird die Summe von 56 Millionen Mark angegeben, auf den km Betriebslänge kommt also etwas mehr als eine Million. Diese Summe ist sehr erheblich, doch muß berücksichtigt werden, daß eine gewöhnliche Bahnstrecke in England pro km immerhin schon 632 000 M. kostet und bei einer für 175 km Geschwindigkeit genügenden Befestigung der Schienen entsprechend mehr.

Trotz aller anerkennenswerten Vorzüge besitzt die Behr'sche Bahn aber noch schwerwiegende Nachteile. Erstens ist es nicht möglich, dieselbe mit Zügen aus mehreren Wagen zu befahren, denn die Kuppelungen würden bei den eigenartigen Widerstandsverhältnissen nicht dauerhaft genug hergestellt werden können. Die Wagen sind nämlich keineswegs frei beweglich auf der Hauptschiene aufgehängt, sondern um Pendelungen und das Gegenstoßen gegen die Trägerböcke zu vermeiden, sind an letzteren noch vier Seitenschienen angebracht, auf denen vier horizontal gestellte Nebenräder des Wagens laufen. Der Wagen läuft also nicht frei auf einer, sondern zwangsläufig auf fünf Schienen, was namentlich beim Passieren von Kurven starke Stöße zur Folge hat. Diesem Umstande wird auch Rechnung getragen durch die Anbringung von starken Armlehnen, mit deren Hülfe der Fahrgast sich auf seinem Platze festhalten soll. Ob das von einigen Seiten weiter geäußerte Bedenken, daß die Räder infolge ihrer Zwangsläufigkeit unerträgliches Geräusch verursachen würden, begründet ist, wird erst die praktische Erfahrung ergeben müssen.

Gleichfalls auf dem Grundgedanken der Einschienenbahnen beruhend, in mehreren wesentlichen Punkten dem Behr'schen System aber bedeutend überlegen, ist die Schwebebahn des Ingenieur Langen, die bei Elberfeld in der Ausdehnung von 13,3 km zur Ausführung gekommen ist. Sie trägt zwar vorläufig noch durchaus das Gepräge einer Lokalbahn und die erreichten Zuggeschwindigkeiten überschritten selbst bei Probefahrten kaum 50 km, doch ist vorauszusehen, daß das System den Fernschnellbahnen neue Perspektiven eröffnet und von einem hervorragenden Fachmann, Geheimrat Dolezalek in Hannover, ist vor einiger Zeit hierauf in eingehendster Weise hingewiesen worden.

Die Wagen der Langen'schen Schwebebahn hängen ähnlich wie die Kästen einer Drahtseilbahn an Rollen, die auf einem aus festen Eisenträgern gebildeten Gleise laufen und mittels Kette und Zahnradgetriebe von den unterhalb auf dem Wagen mon-

Digitized by Google

tierten Elektromotoren angetrieben werden. Die das Gleis bildenden Längsträger können auf verschiedenartig konstruierten Querträgern ruhen, wie die Abbildungen auf S. 66 u. Tafel III illustrieren, und die Schwebebahn kann so über Chausseen, bereits vorhandenen Eisenbahnlinien, ja sogar über Flußläufen angelegt werden, ohne den Verkehr auf den darunter liegenden Strecken in irgend einer Weise zu beeinflussen oder gar zu stören.

Ein erheblicher Vorteil dieses Systems gegenüber dem des Ingenieurs Behr besteht also zunächst schon darin, daß die Anlage besonderer Gleise für den Schnellverkehr ohne neuen Grunderwerb möglich ist. Ganz besonders würde das Schwebebahnsystem sich deshalb da eignen, wo eine Verbreiterung der Bahnstrecke nahezu unmöglich ist, wie z. B. auf der Berliner Stadtbahn. Der Verkehr auf der letzteren wächst in so rapidem Tempo, daß über kurz oder lang ernstlich an die Schaffung eines dritten und vierten Gleises für den Ringbahnverkehr und eine dadurch zu erreichende Trennung desselben vom Stadtverkehr gedacht werden muß. Wie dies mit Hülfe einer Schwebebahnanlage in einfachster Weise durchzuführen sein würde, zeigt die Skizze auf S. 51, die den Querschnitt eines Bahnhofes für Fernverkehr, Ringbahn und Schwebebahn nach dem Entwurf der kontinental. Gesellsch. für elektrische Unternehmungen in Nürnberg darstellt. Die Kosten einer Schwebebahnanlage über einer bereits bestehenden Standbahn des gewöhnlichen Typus würden sich etwa auf 600 000—700 000 M. — oder sogar weniger — pro Kilometer Betriebsstrecke belaufen, würden also denen für eine vollständig neue und für Schnellverkehr genügend stabile Bahnstrecke nahe gleichkommen.

Hiermit eng zusammen hängt ein zweites günstiges Moment, daß nämlich Kreuzungen der Bahnstrecke durch Fahrstraßen und Wege grundsätzlich vermieden werden und daß das Bahngleis dadurch unwillkürlichen und auch böswilligen Störungen entzogen wird. Da, wo die bisherigen Bahnen unter Brücken hindurchgehen, könnte die darüber angeordnete Schwebebahn die Brücken ihrerseits mit Leichtigkeit überhöhen, da ja Steigungen für den elektrischen Betrieb keine wesentlichen Verkehrshindernisse bilden, indem die zu deren Überwindung erforderliche Mehrleistung an Zugkraft den Motoren ohne Weiteres und ohne Geschwindigkeitsverminderung zugemutet werden kann. Auf der Behr'schen Versuchsbahn sind Steigungen von 1 : 10, auf der Elberfelder Bahn von 45 : 1000 ohne Schwierigkeiten befahren worden. Garnicht unwesentlich dürfte es übrigens auch sein, daß solche Schwebebahnen nicht unter Schneeverwehungen zu leiden haben. Abgesehen von der Vermeidung unliebsamer Betriebsstörungen ergiebt sich daraus die Ersparnis der durchschnittlichen jährlichen Schneeräumungskosten von 62 M. pro Betriebskilometer.

Digitized by Google

Der Oberbau einer solchen Schwebebahn mag auf den ersten Augenblick wohl etwas leicht und für die Inanspruchnahme durch Schnellverkehr zu unsicher erscheinen. Diese Besorgnis ist aber durchaus nicht begründet. Im Gegenteil, das Schwebebahngeleis ist fester und gegen Verschiebungen gesicherter als die gewöhnlichen Zweischienenstrecken. Die Räder laufen auf der Schiene, indem sie dieselbe von jeder Seite mit einem Spurkranze von 30 mm Höhe umfassen, sind also gegen Entgleisungen so gut wie vollständig gesichert. Und sollte ein Achsbruch oder ein Radbruch erfolgen, so würde der Wagen auf den seitwärts übergebogenen Bügel fallen und hieran hängen bleiben.

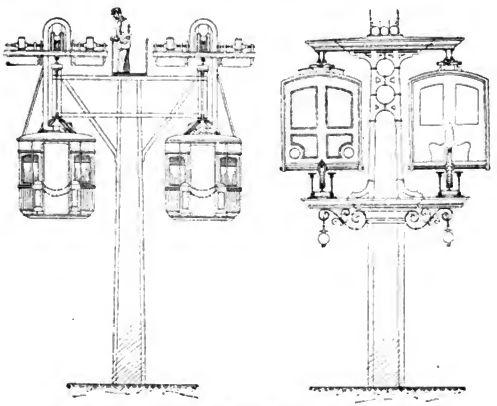


Fig. 11. Zweigleisige Schwebebahn auf Mittelträger.

Beim Befahren der Kurven nehmen die Wagen infolge der Centrifugalkraft eine von der senkrechten Lage mehr oder weniger abweichende Schräglage ein, es ist aber hier nicht wie bei der Behr'schen Bahn dann die Gefahr des Anstoßens an die Trägerböcke vorhanden, sondern der Wagen kann frei und ruhig ausspendeln, wenn die Kurve überwunden ist. Die Kurven können daher mit jeder beliebigen Schnelligkeit befahren werden und ebenso fallen die Nachteile einer etwaigen Zwangsläufigkeit fort. Nach Berechnungen von Petersen beträgt auf einer Kurve vom Radius 250 m die Neigung eines mit 80 km Geschwindigkeit auf einer zweischienigen Bahn fahrenden Zuges 11,5°, bei 150 km

Digitized by Google

Geschwindigkeit mehr als 35 °. Eine Schwebebahn würde aber Kurven vom Radius 50 m mit nahezu 70 km Geschwindigkeit befahren können, ehe sie diese Neigung erreicht, und wie die Versuche auf der Elberfelder Bahn gezeigt haben, machen sich Neigungen von 26 ° und mehr den Fahrgästen noch kaum geltend. Während also für Standbahnen der Minimalradius der Kurven für 200 km Geschwindigkeit auf 4000 m anzusetzen wäre, könnten die Schwebebahnen noch sicher Kurven vom Radius 640 m befahren, d. h. sie könnten ohne Weiteres über fast allen bestehenden Bahnstrecken angelegt werden.

Die Wagen der Elberfelder Bahn sind für 50 Personen berechnet und wiegen 12 t, d. h. also etwa $^1/_7$ der für die gleiche Personenzahl berechneten Wagen der Zossener Versuchsbahn. Es folgt daraus, daß weit weniger Kraftaufwand zur Bewegung erforderlich ist, besonders, da auch der Luftwiderstand wesentlich verringert wird durch die Möglichkeit des Ausweichens nach unten für die beiseite geschobene Luft.

So verlockend nun auch das Projekt erscheint, die Fernschnellbahnen als Schwebebahnen über den heutigen Bahnstrecken anzulegen, so muß doch immer wieder vor zu kühnen und unbedachten Schlüssen gewarnt werden. Die Elberfelder Bahn hat sich bis jetzt vorzüglich bewährt, aber sie ist eine Lokalbahn und noch lange keine mit 200—250 km in der Stunde auf Strecken von mehreren Hundert km dahinjagende Fernschnellbahn. Es wird zwar berichtet, daß schon in allernächster Zeit eine nach ähnlichem Prinzipe gebaute elektrische Hängebahn die beiden Hauptstädte des russischen Reiches, Moskau und Petersburg, verbinden und daß diese 644 km lange Strecke mit Fernschnellbahngeschwindigkeiten befahren werden soll. Vorläufig scheint dieser Plan aber noch nicht viel Aussichten auf Verwirklichung zu haben, wie schon aus der offenkundigen Unterschätzung der Anlagekosten (98 Mill. Rubel) hervorgeht.

Wenn die erste Fernschnellbahn in zehn Jahren den regelmäßigen Betrieb mit einigen Zügen von 150 km Geschwindigkeit eröffnet, so dürften wohl die kühnsten aller begründeten Wünsche ihre Erfüllung finden. Mehr zu hoffen, oder gar in reklamehafter Weise zu versprechen, muß aber nach kritischer Beurteilung des heutigen Standes der Frage zum Mindesten als unvorsichtig bezeichnet werden.

Digitized by Google

Fig. 12. Elektrische Schnellbahn-Lokomotive von Siemens & Halske.

Digitized by Google

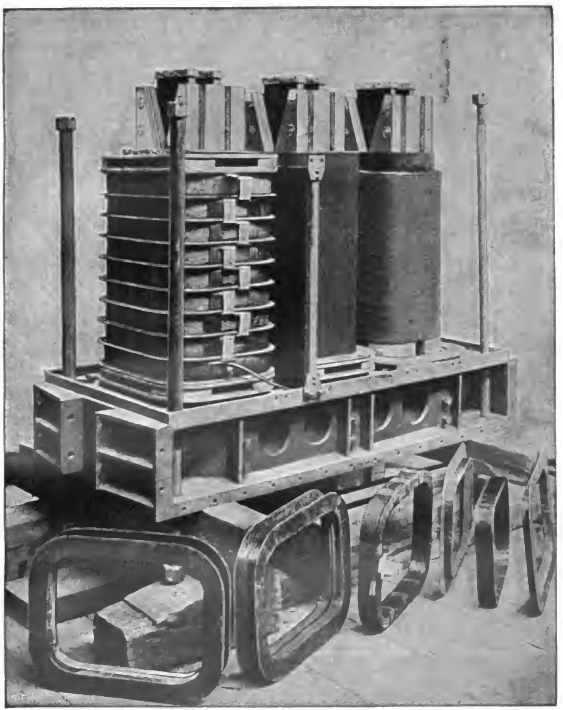


Fig. 13. Transformatoren für Drehstrom. (Siemens & Halske.)

Digitized by Google

Fig. 14. Installierung einer zweigleisigen Schwebebahn

Digitized by Google

ıftrecke über einer Chauſſee. (Elberfelder Schwebebahn.)

Digitized by Google

Digitized by Google

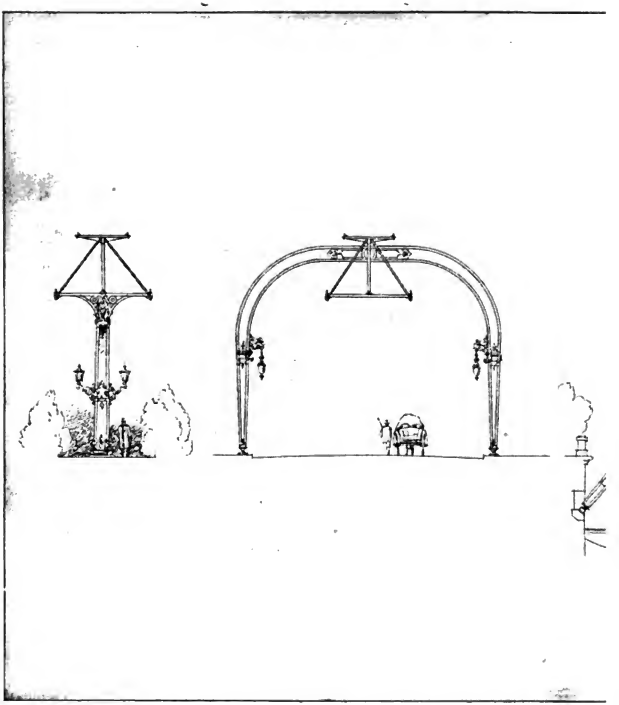
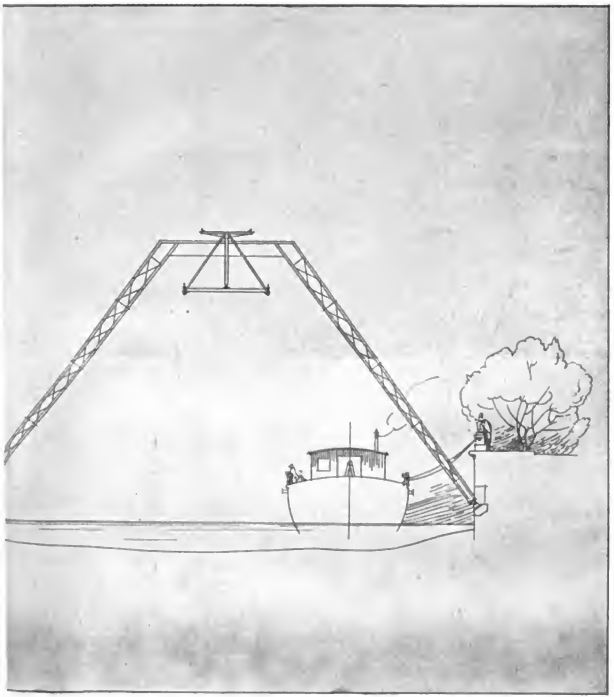


Fig. 15. Doppeltes Schwebebahngeleis auf Mittelstütze und Bogenstütze (Querschnitt).

Digitized by Google



Doppeltes Schwebebahngeleis auf Trägerstützen über einem Flußlaufe (Querschnitt).

Digitized by Google

Digitized by Google

Fig. 16. Schwebebahn über e

Digitized by Google

einem Flußlaufe (Elberfeld).

Digitized by Google

Digitized by Google

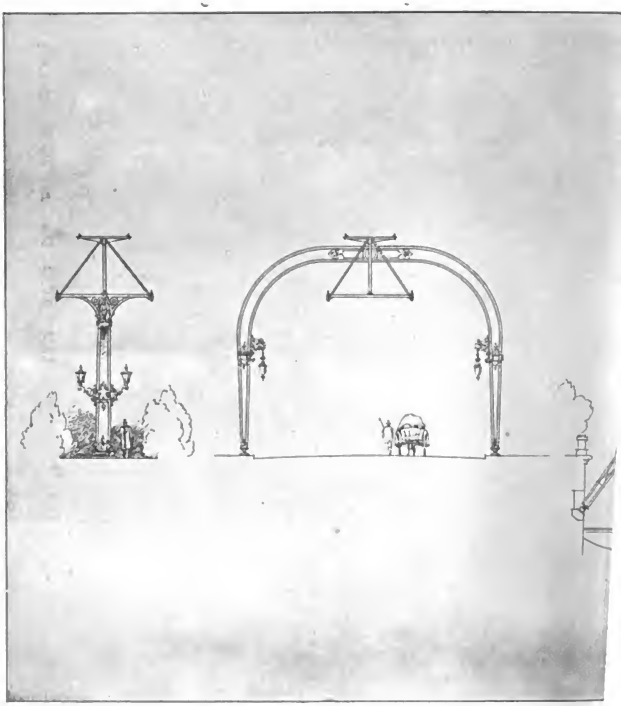
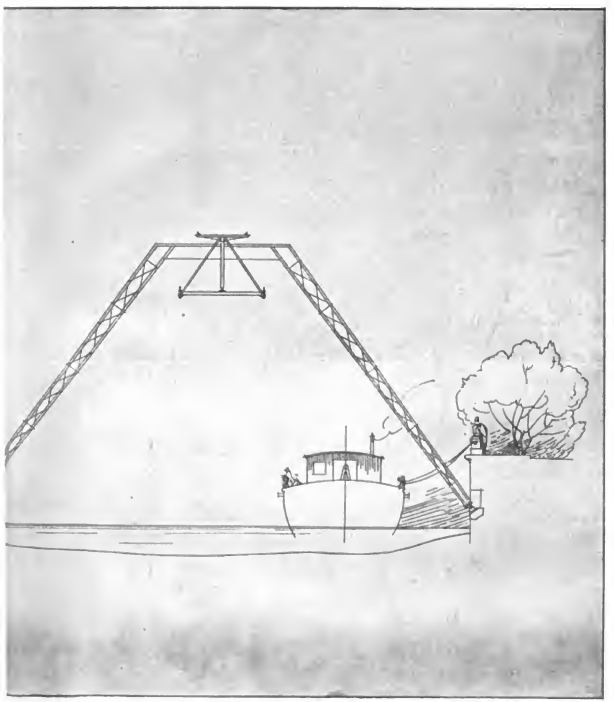


Fig. 15. Doppeltes Schwebebahngeleis auf Mittelstütze und Bogenstütze (Querschnitt).

Digitized by Google



)oppeltes Schwebebahngeleis auf Trägerstützen über einem Flußlaufe (Querschnitt).

Digitized by Google

Fig. 16. Schwebebahn über e

Digitized by Google

iem Flußlaufe (Elberfeld).

Digitized by Google

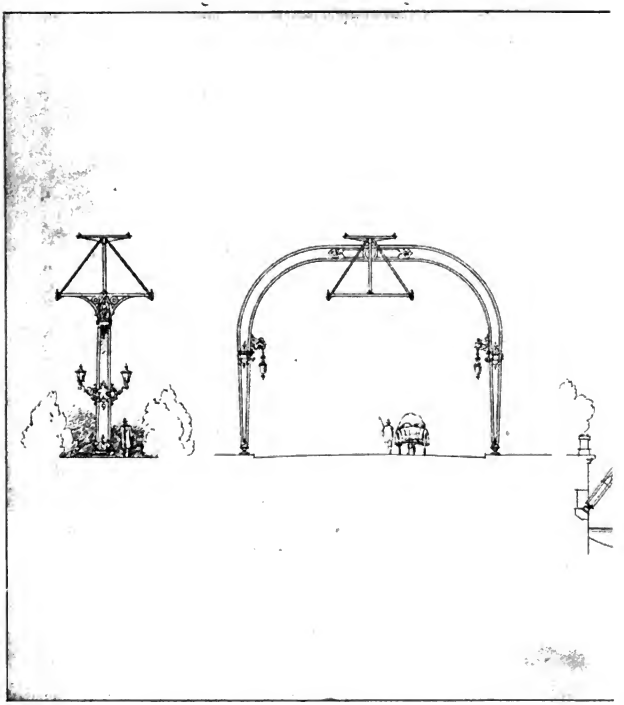
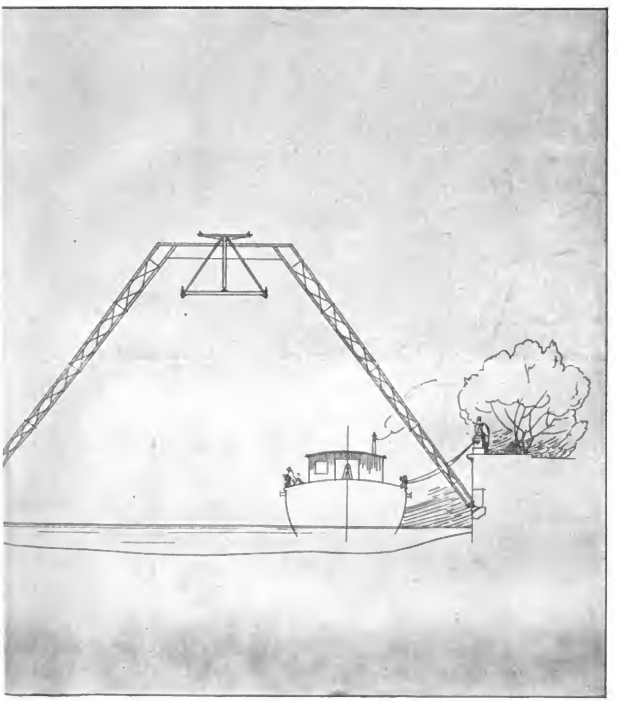


Fig. 15. Doppeltes Schwebebahngeleis auf Mittelstütze und Bogenstütze (Querschnitt).

Digitized by Google



Doppeltes Schwebebahngeleis auf Trägerstützen über einem Flußlaufe (Querschnitt).

Digitized by Google

Fig. 16. Schwebebahn über e

Digitized by Google

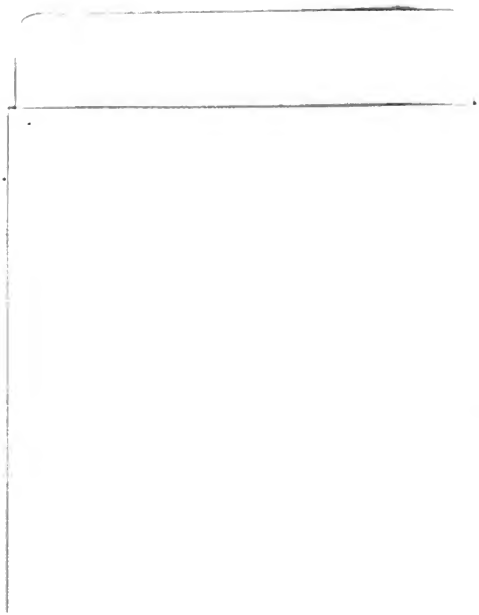
einem Flußlaufe (Elberfeld).

Digitized by Google

89090512492

b89090512492a

Digitized by Google



Digitized by Google

89090512492

B89090512492A

Digitized by Google